TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS i

TABLE DES MATIERES ii

NOTATIONS ET ABREVIATIONS vi

INTRODUCTION GENERALE 1

CHAPITRE 1 2

GENERALITES SUR LA TNT ET LA 4G 2

1.1 Introduction sur la TNT 2

1.1.1 Définition *2*

1.1.2 Les étapes de la transmission *2*

1.2 Chaine de transmission numérique 3

1.2.1 Explication de la chaine de transmission numérique *4*

1.2.2 Le codage canal *6*

1.2.3 La modulation COFDM *9*

1.2.4 La modulation d'une porteuse *12*

1.3 Mesure des erreurs à la réception 13

1.4 L'historique de la 4G 15

1.5 Introduction de la 4G 16

1.6 L'évolution de la radio mobile 16

1.7 Le principe du LTE 17

1.8 Caractéristiques de l'accès au LTE 17

1.8.1 Connexion permanente *17*

1.8.2 Délai pour la transmission de données *17*

1.8.3 La mobilité et le Handover *18*

1.8.4 Coexistence et Interfonctionnement avec la 3G *19*

1.8.5 Débit sur l'interface radio *19*

1.8.6 Les technologies OFDMA et SC-FDMA *20*

1.9 L'architecture du LTE 21

1.9.1 L'EPC (Evolved Packet Core) *22*

1.9.2 L'E-UTRAN (Evolved-Universal Terrestrial Radio Access) *24*

1.9.3 La partie IMS (IP Multimedia Sub-system) *24*

1.10 Les services offerts par le LTE **25**

1.11 La qualité de services **25**

1.12 Conclusion **26**

CHAPITRE 2 ..... **27**

LA LIAISON HERTZIENNE **27**

2.1 Introduction **27**

2.2 Propagation dans l'environnement terrestre **27**

2.3 Les facteurs influençant la propagation **28**

2.4 Propagation en espace libre **28**

2.4.1 Réfraction atmosphérique *29*

2.4.2 Dégagement / diffraction *29*

2.5 Affaiblissement en espace libre **29**

2.6 Atténuation **30**

2.7 Quelques définitions **31**

2.7.1 Ondes radioélectriques *31*

2.7.2 Les liaisons radioélectriques *31*

2.7.3 Les faisceaux hertziens *31*

2.8 Les différents type de FH **32**

2.8.1 Les types de FH *32*

2.8.2 Les types de liaison par FH(Faisceau Hertzien) *33*

2.8.3 Les fréquences porteuses utilisées en FH *34*

2.9 Eléments constitutifs d'une liaison hertzienne **35**

2.10 Organisation fonctionnelle d'un émetteur-récepteur **36**

2.11 Guidage et précipitation **38**

2.11.1 Phénomène de guidage *38*

2.11.2 Atténuation dues aux hydrométéores *38*

2.12 Dispositif de contre mesure **39**

2.12.1 Réflexion, trajets multiples ***39***

2.12.2 Protection veille active ***39***

2.13 Bilan de liaison **40**

2.14 Conclusion **41**

CHAPITRE 3 ..... **42**

ANTENNE INTELLIGENTE **42**

3.1 Introduction **42**

3.2 Les antennes **42**

3.2.1 Antenne d'émission ***42***

3.2.2 Antenne de réception ***42***

3.3 Les caractéristiques des antennes **43**

3.3.1 Diagramme de rayonnement d'une antenne ***43***

3.3.2 Angle d'ouverture ***45***

3.3.3 Directivité ***46***

3.3.4 Gain ***46***

3.3.5 Rendement ***46***

3.3.6 Lien entre gain et angle d'ouverture ***47***

3.3.7 Puissance isotrope rayonnée équivalente (PIRE) ***47***

3.4 Les types d'antennes **48**

3.5 Les antennes intelligentes **51**

3.5.1 Définition et intérêt des antennes intelligentes ***51***

3.5.2 Les systèmes à faisceau commuté ***51***

3.5.3 Les systèmes des antennes réseaux adaptatifs ***52***

3.5.4 Comparaison de deux systèmes technologiques précédents ***53***

3.6 Réseau d'antenne **54**

3.6.1 Définition et principe ***54***

3.6.2 Les différentes configurations géométriques ***54***

3.7 Conclusion **57**

CHAPITRE 4 ..... **58**

LES INTERFERENCES DE LA TNT FACE A LA 4G ET LES SOLUTIONS **58**

4.1 Introduction **58**

4.2 La libération partielle de la Bande V **58**

4.3 La cohabitation de la 4G et TNT **59**

4.3.1 Les fréquences adjacentes ***59***

4.3.2 Les cas où les interférences risquent d'intervenir ***60***

4.4 Simulation du diagramme de rayonnement des antennes réseaux **60**

4.4.1 Présentation du logiciel de simulation ***60***

4.4.2 Le résultat avec le réseau linéaire ***63***

4.4.3 Résultats avec le réseau planaire ***79***

4.4.4 Résultats avec le réseau circulaire ***93***

4.4.5 Influence de θo et ϕo ***105***

4.5 Conclusion **111**

CONCLUSION GENERALE **112**

ANNEXES **113**

ANNEXE 1 ..... **113**

ALGORITHMES ADAPTATIFS **113**

ANNEXE 2 ..... **114**

LES BANDES DE FREQUENCE AVEC L'ANTENNE YAGI **114**

ANNEXE 3 ..... **115**

EXTRAIT DES CODES SOURCES UTILISES POUR LA SIMULATION **115**

BIBLIOGRAPHIE **116**

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

NOTATIONS ET ABREVIATIONS

1.Minuscules latines :

a	Affaiblissement
d	Distance entre les deux antennes
g_e	Gain de l'antenne émettrice
g_r	Gain de l'antenne réceptrice
h_t	Hauteur de l'antenne d'émission
h_r	Hauteur de l'antenne de réception
η	Le rendement
p_e	Puissance émise
p_r	Puissance reçue
$r(\theta, \varphi)$	Fonction caractéristique de rayonnement
t_1	Durée nécessaire pour que l'onde se propage
t_2	Durée nécessaire pour que l'onde se propage sur le trajet avec réflexion

2.Majuscules latines :

D (θ,φ)	Directivité
G(θ, φ)	Gain d'une antenne dans une direction (θ, φ)
I_0	Elément d'excitation
I_n	Amplitude
L_p	Propagation en espace libre
$P(\theta, \varphi)$	Puissance rayonnée dans une direction quelconque

$P_0\left(\theta_0,\varphi_0\right)$	Puissance rayonné maximale
P_{ray}	Puissance rayonnée
P_{tot}	Puissance totale

3.Minuscules grecs

β_x	Déphasage progressif sur le plan x
β_y	Déphasage progressif sur le plan y
α_n	Phase d'excitation du nième élément
θ_0	Angle que forme l'antenne par rapport à (Ox)
λ	Est la longueur d'onde
φ_0	Angle que forme l'antenne par rapport à (Oz)

4. Abréviations

1G	Première Génération
2G	Deuxième Génération
3G	Troisième Génération
4G	Quatrieme generation
BSC	Base Station Controller
BTS	Base Transceiver Station
COFDM	Code Orthogonal Frequency Division Multiplexing
DoA	Direction of Arrival
DVB-T.	Digital Video Broadcasting-Terrestrial
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
EPC	Evolved Packet Core
MPEG2	Motion Picture Experts Group-2
E-UTRAN	Evolved-UMTS Terrestrial Access Network
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile communications
HLR	Home Location Register
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HSPA	High Speed Packet Access
HSS	Home Subscriber Service

HSUPA	High Speed Uplink Packet Access
LTE	Long Term Evolution
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MME	Mobile Managment Entity
MSC	Mobile Switching Center
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
P-GW	Packet Data Network GateWay
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
SC-FDMA	Single Carrier - Orthogonal Frequency Division Multiple Access
S-GW	Serving GateWay
TNT	Television Numerique Terrestre
TS	Transport Stream
UHF	Ultra High Frecency
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
VLR	Visitor Location Register
CBER	Code Bit Error Rate
VBER	Viterbi Bit Error Rate

Rapport-Gratuit.com

INTRODUCTION GENERALE

La communication est parmi les moyens qui assurent le développement d'un pays comme Madagascar. En vérité la télécommunication date de plusieurs années, au début les moyens utilisés n'étaient pas assez fiable et ne répondaient pas au besoin de tout le monde. Depuis quelques décennies, le monde de télécommunication a connu une pleine évolution et sans doute encore dans les années à venir. Le développement des techniques appliquées dans le domaine de traitement de l'information vise actuellement à améliorer les matériels existants et même à diversifier les services offerts pour faire face à la forte croissance de la demande d'accès à ces services.

L'évolution incessante de la technologie incite l'ingénierie à poursuivre leurs recherches, notamment dans le domaine de la télécommunication. Leurs études sont surtout orientées vers les tendances actuelles telles la télévision numérique terrestre (TNT).En matière de radio communication mobile, le réseau de la quatrième génération (4G) n'a cessé de se progresser dans notre monde quotidien. Pendant les années 80, les réseaux mobiles étaient analogiques et vers les années 90, les systèmes mobiles se numérisent et tendent à être multiservice. En générale, quel que soit la communication, elle a pour but de relier un point émetteur vers un autre point récepteur par le biais d'un canal de transmission. Ce dernier peut rencontrer plusieurs éléments perturbateurs tels que la haute fréquence (FH). Pour cela la contribution d'une antenne intelligente s'impose pour pallier à ces genres des problèmes. Un système d'antenne intelligente se compose en réalité d'une série d'antennes élémentaires dont les signaux reçus sont pondérés et combinés en utilisant une technique d'adaptation afin de contrôler et améliorer la réception ou la transmission. Cette technique, regroupe les traitements de signal et les algorithmes adaptatifs employés pour contrôler, en temps réel, le diagramme de rayonnement du réseau d'antennes.

Le premier chapitre de ce mémoire sera une généralité sur la TNT et les réseaux 4 G montrant la croissance et la conception de ces technologies. Comme les réseaux en question utilisent la liaison hertzienne en tant que canal de transmission alors le faisceau hertzien fera l'objet du second chapitre. Le troisième chapitre sera consacré à la description de l'antenne intelligente vu qu'elle représente la solution envisageable. En fin, le quatrième chapitre est dédié à la présentation du problème aux interférences qui s'y trouvent entre la TNT et le 4G ainsi que la simulation des réseaux d'antenne basé sur l'influence des paramètres constitutifs. Cette simulation nous est utile car une antenne intelligente est de prime abord constituée par un réseau d'antenne.

CHAPITRE 1
GENERALITES SUR LA TNT ET LA 4G

1.1 Introduction sur la TNT

Dans le monde de la communication, la vague de la numérisation continue de se répandre. Après avoir révolutionnée le son, l'image, la vidéo et la téléphonie, c'est au tour maintenant des réseaux hertziens terrestres de passer au numérique. Les téléspectateurs grand public dotés d'une bonne vieille antenne râteau peuvent désormais progressivement bénéficier du fruit de la technologie de la diffusion numérique terrestre, en recevant chez eux des images et du son qualité numérique accompagnés de services interactifs.

1.1.1 Définition

La TNT est un mode de diffusion terrestre de la télévision dans lequel les signaux vidéo, audio et de données ont été numérisés, puis ordonnés dans un flux unique avant d'être modulés puis diffusés via les ondes électromagnétiques. [1]

1.1.2 Les étapes de la transmission

Pour effectuer la transmission d'un programme audiovisuel, trois étapes sont nécessaires dont les deux premières étapes concernent le milieu professionnel et la troisième concerne le grand public :

- Le service de contribution : il assure la mise en forme des signaux. C'est à ce stade que les retouches vidéo ou sonores sont effectuées.
- Le service de distribution primaire : il assure le lien entre les centres de productions audiovisuels et les têtes de réseaux de diffusion
- Le service de distribution secondaire : il distribue les données audiovisuelles depuis les têtes de réseaux jusqu'à chez le téléspectateur.

La diffusion des signaux numériques en TNT se faisait dans la même bande d'émission qu'en télévision analogique : en UHF dans la bande IV et V de 470MHz à 862MHz. Une vidéo est une séquence d'images fixes. Ainsi pour le coder, on utilise le langage binaire où l'information est représentée par 0 et 1. Cependant, il existe plusieurs modes de codage de la couleur mais le plus utilisé est le codage rouge, vert, bleu (RVB).

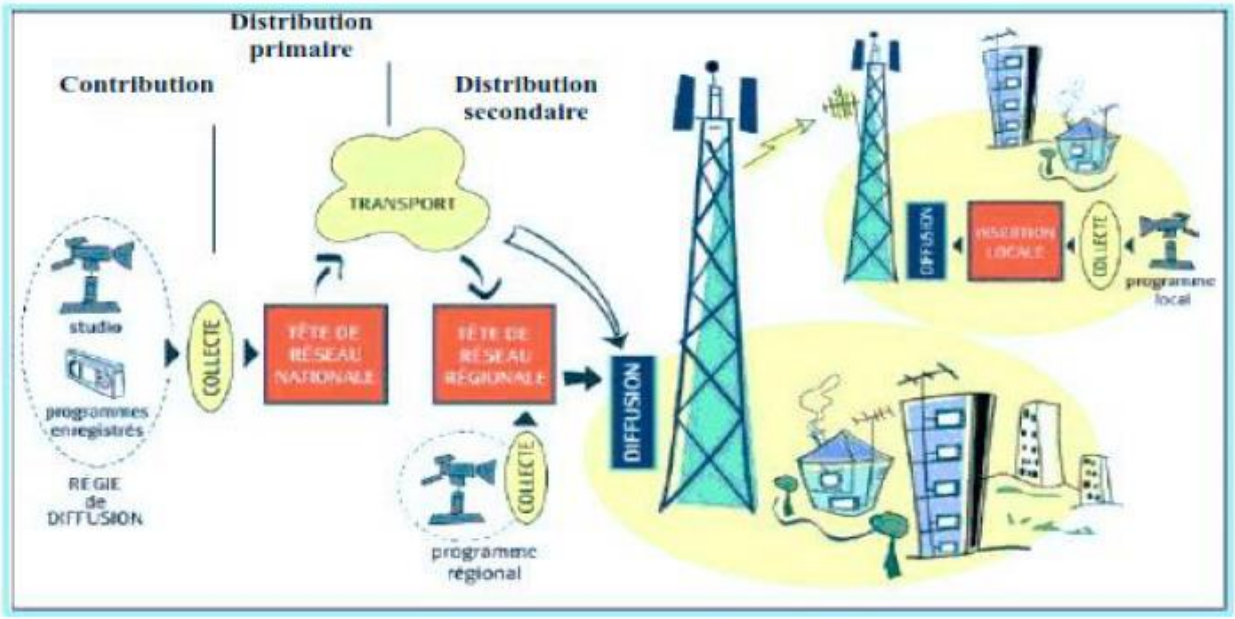


Figure 1.01 : *Schéma global du fonctionnement de la TNT*

Le transport du multiplex de programmes depuis la tête de réseau jusqu'aux sites de diffusion peut se faire par satellite ou via le réseau terrestre (faisceaux hertziens, fibres optiques).

1.2 Chaine de transmission numérique

La TNT conserve le principe de la diffusion par voie hertzienne, c'est-à-dire, la transmission des données portées par ondes électromagnétiques de hautes fréquences. Toutefois, au lieu de transporter les images et les sons en analogique (comme en télévision analogique), les signaux audiovisuelles subissent d'abord un traitement de numérisation et de compression selon la norme définit par le consortium DVB-T.

Suite à cette opération primordiale, les signaux numériques (audio et vidéo) sont ordonnées dans un flux unique (multiplexage), avant d'être modulés puis diffusés c'est-à-dire transportés jusqu'au téléspectateur via les ondes électromagnétiques.

Actuellement, avec la diffusion Hertzienne analogique, l'image et le son enregistrés par la caméra sont numérisés et on parle communément d'image et de son numérique. Avec la TNT, les programmes sont toujours fabriqués de la même façon que l'analogique. En revanche ils sont diffusés sous forme numérique. Et nos téléviseurs doivent s'adapter pour recevoir et traiter des données numériques. [1][2]

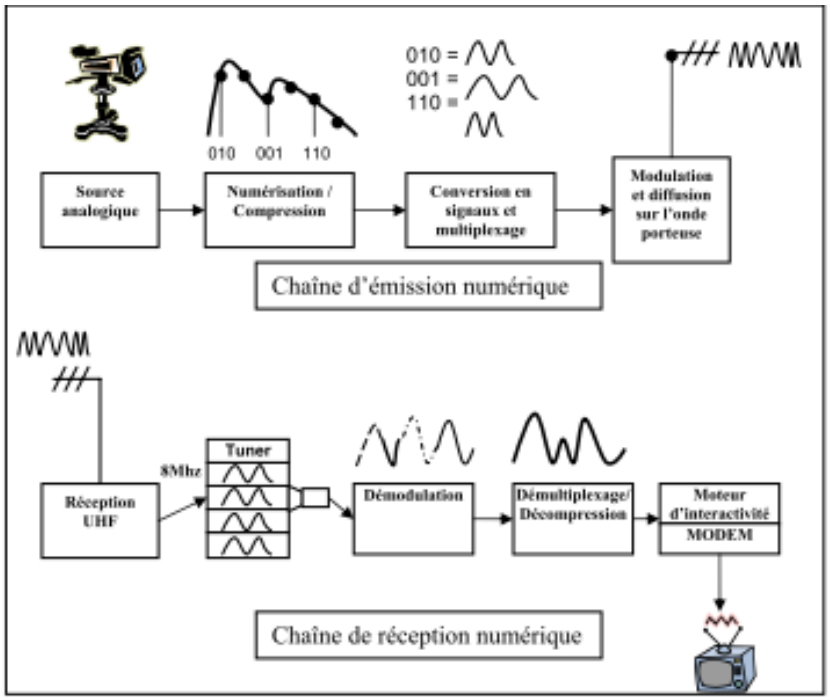


Figure 1.02 : *Chaine de transmission numérique*

1.2.1 Explication de la chaine de transmission numérique

1.2.1.1 La numérisation

Le signal électrique de la caméra est numérisé : cela consiste à sélectionner des points à intervalle régulier sur la courbe et à coder leur position en binaire. Chaque code en binaire, par exemple 110, va correspondre à un point sur la courbe (Figure 1.02).

1.2.1.2 La modulation

Quand on diffuse en numérique, ce sont ces codes que l'on fait voyager sur les ondes porteuses. A chaque symbole va être attribué un court signal électrique qui a sa propre fréquence. Par exemple 010 = signal 1, 001 = signal 2.Ces signaux vont faire moduler l'onde porteuse de la même façon. L'antenne de réception capte les ondes, ensuite démodulation, on récupère les codes de départ et on reconstitue le signal vidéo, donc l'image.

1.2.1.3 La compression du signal

Mais comme le poids des images numérisées est trop important, il est nécessaire de les compresser et de ne faire voyager que les codes qui ont changés. Comme le signal a été découpé en une série de codes, il est possible d'envoyer uniquement ceux qui ont changé par rapport à l'image précédente. Pas besoin d'encombrer les ondes avec des choses que l'on a déjà. Par conséquent, on gagne de la place et on va l'occuper avec de nouveaux programmes. Concrètement, sur une bande de 8 Mhz, là où on pouvait ne diffuser qu'un programme analogique, on va pouvoir diffuser simultanément 5 ou 6 programmes numériques.[4]

1.2.1.4 Le multiplexage

Avec le numérique, on gagne de la place mais ça ne veut pas dire qu'on va diviser une bande de 8 Mhz uniformément en 5 ou 6 plages. Les programmes sont donc compressés et vont pouvoir voyager ensemble par petits morceaux sur la même bande de 8 Mhz, là où ils trouvent de la place. Au final, toute la bande sera occupée, et les 5 ou 6 programmes qui voyageront ensemble sur la même bande formeront un multiplex.

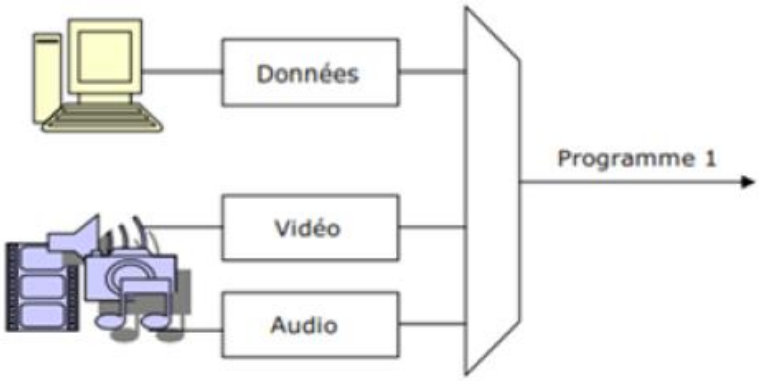


Figure 1.03 : *Un programme en TNT*

Ensuite, les données provenant de plusieurs programmes différents sont brassés de façon à constituer un flux unique de données appelés : multiplex, comme la montre la figure ci-dessous.
En fait, le flux multiplex est organisé en plusieurs paquets de 188 octets précédés chacun d'un en-tête qui désigne :

- le numéro de source (Paquet Identifier PID)
- le type de donnée (audio, vidéo, sous-titre, données de service etc.)

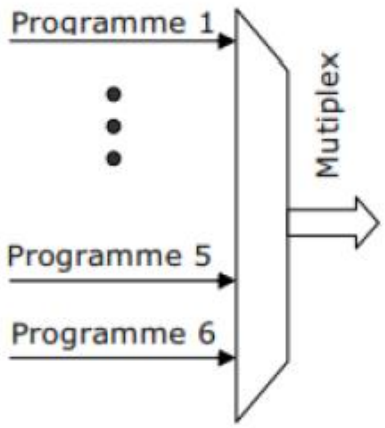


Figure 1.04 : *Multiplexage de 6 chaines*

1.2.1.5 Le démultiplexage

Tous les éléments d'une image porte la marque du programme auxquels ils appartiennent. Le démultiplexeur va lire cette marque, et sélectionner les éléments d'un seul programme, et le reste est éliminé. De cette façon, le multiplexeur va reconstituer le programme demandé. Au final, les programmes ne se mélangent pas, le son et l'image sont restituées correctement.[5]

1.2.2 Le codage canal

Après l'étape du multiplexage, les données du flux multiplex doivent être protégées contre les erreurs de transmission, ainsi ils vont ensuite subir un traitement de codage de canal avant d'être modulées sur des porteuses.

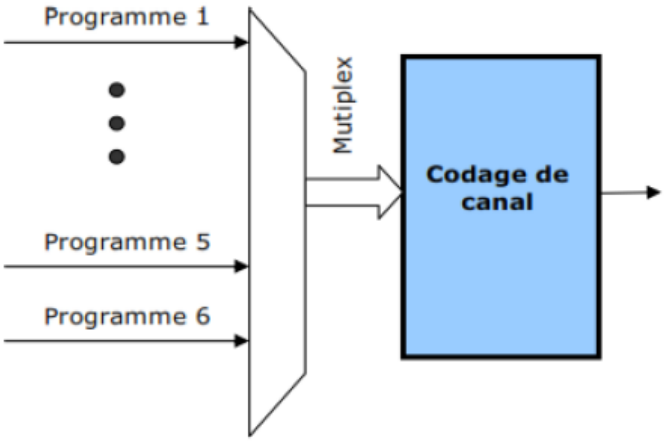


Figure 1.05 : *Le codage de canal*

Comme la TNT est diffusé par ondes hertziennes qui restent à la surface de la terre, on reçoit malgré cela, grâce à l'antenne de réception, une succession d'échos résultants de la réflexion sur les

obstacles. C'est pour pallier à ce problème qu'est l'idée du codage de canal. En fait, le codage de canal consiste en la protection de données qui se fait alors par ajout des paquets de correction.[6][7] Voici comment s'organise donc la protection des données dans le codage de canal :

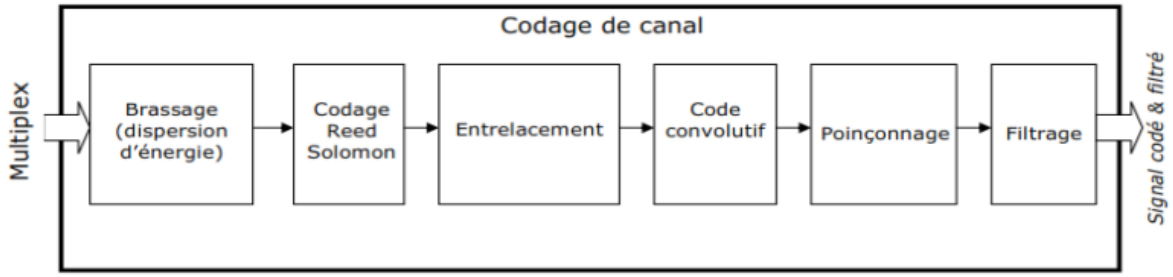


Figure 1.06 : *Les étapes de codage de canal en TNT*

- Le brassage ou dispersion d'énergie : cette étape permet de mélangée les données afin d'éviter les suites de 0 ou de 1 qui pourraient produire des perturbations. Elle a également pour rôle d'uniformiser le spectre radiofréquence.
- Le codage Reed Solomon : permet la détection et la correction des bits erronés dans les transmissions. Pour cela le code ajoute 16 octets derrière chaque paquet de 188 octets. Ainsi, ces 16 octets sont caractéristiques de chaque paquet de 188 octets et permet une augmentation de débit jusqu'à 26 Mbits/s.

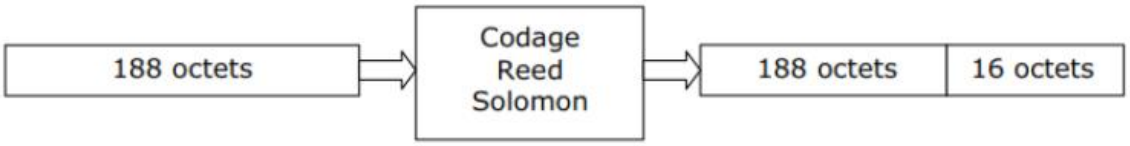


Figure 1.07 : *Codage Reed Solomon*

- L'entrelacement : il consiste à son tour de rendre plus efficace la correction des erreurs effectuée par le Reed Solomon en isolant les erreurs des paquets erronés.
- Le code convolutif : c'est un deuxième code correcteur d'erreur qui a pour but de renforcer la protection de données mais également d'augmenter le débit à 39 Mbits/s, comme illustré sur la figure ci-dessous, puisqu'un codage convolutif nécessite 3 bits pour en transmettre.

- Le poinçonnage : quant à lui permet de réduire le débit trop important crée par le code convolutif en ne transmettant qu'une partie des bits nécessaires. Les bits manquant à la réception seront remplacés par des 0.
- Le filtrage : C'est la dernière étape du codage de canal. En fait elle permet de réduire la bande passante trop importante du signal numérique.

Pour un canal on multiplex de 6 chaînes, la structure d'un émetteur TNT est illustré à la figure suivante:

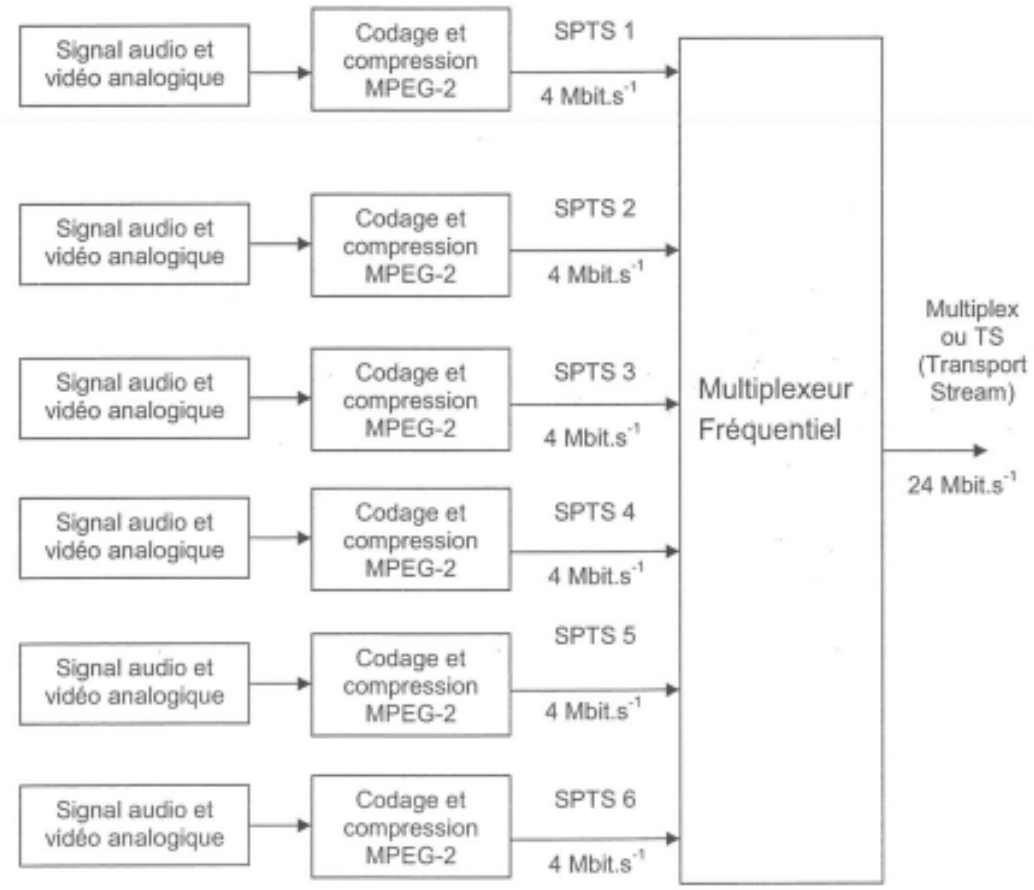


Figure 1.08 : *Structure de l'émetteur TNT*

L'ensemble du signal vidéo, son et données est échantillonné et compressé en MPEG2, protégé contre les erreurs de transmissions, puis module la porteuse. Par exemple lorsqu'au niveau du SPTS on a un débit de 4Mbts en arrivant au TS on le multiplie par 6 et on obtient un débit de 24Mbts.

Apres le codage de canal l'information est protégé en utilisant le code convolutif. Par conséquent ce dernier nous permet d'obtenir un débit de 39Mbts.[8]

1.2.3 La modulation COFDM

La télédiffusion numérique utilise la modulation COFDM, procédé qui associe un codage de canal et une modulation OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) des signaux individualisés à l'aide de sous porteuses multiples. L'occupation optimale du canal permet avec une même largeur (8Mhz) de transmettre 6 chaines en qualité normal.

Par définition, les caractéristiques d'un canal de transmission ne sont pas constantes dans le temps. Mais durant un court laps de temps, les caractéristiques d'un canal hertzien sont stables. Le COFDM découpe le canal en cellule selon les axes du temps et des fréquences.

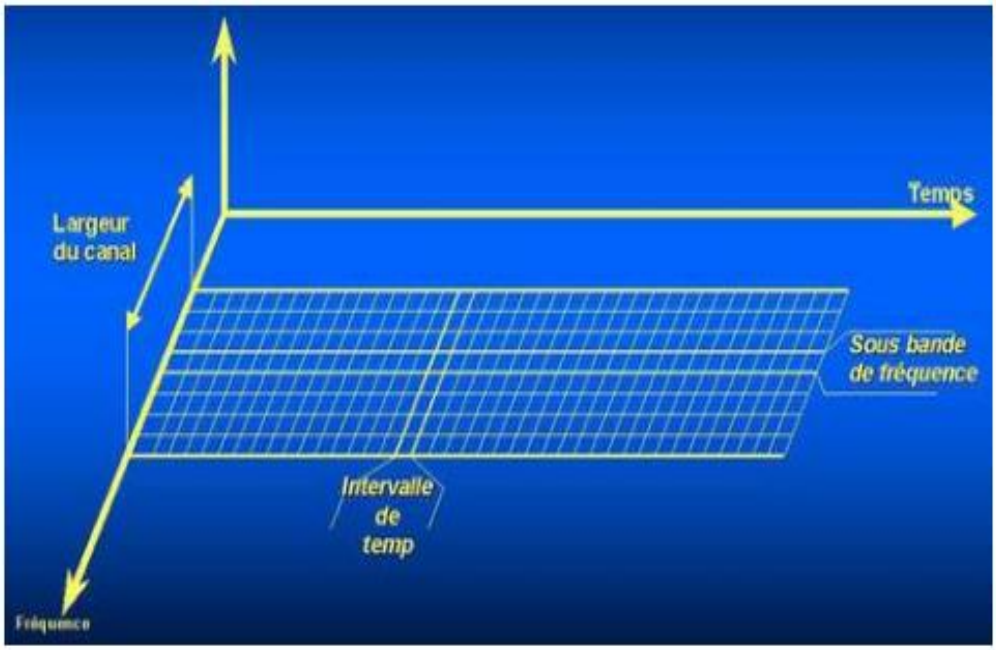


Figure 1.09 : *Représentation des cellules d'un canal 8Mhz*

Le canal est alors constitué d'une suite de sous bandes de fréquence et d'une suite de segments temporels.

A chaque cellule fréquence/temps est attribuée une porteuse dédiée qui représente un symbole COFDM. On va donc répartir l'information à transporter sur un ensemble de ces porteuses, modulée chacune à faible débit par une modulation du type QPSK (transmission par satellite) ou QAM.

Deux choix existent :

- le mode dit 8K (6817 porteuses dans le canal)
- le mode dit 2k (1705 porteuses dans le canal).

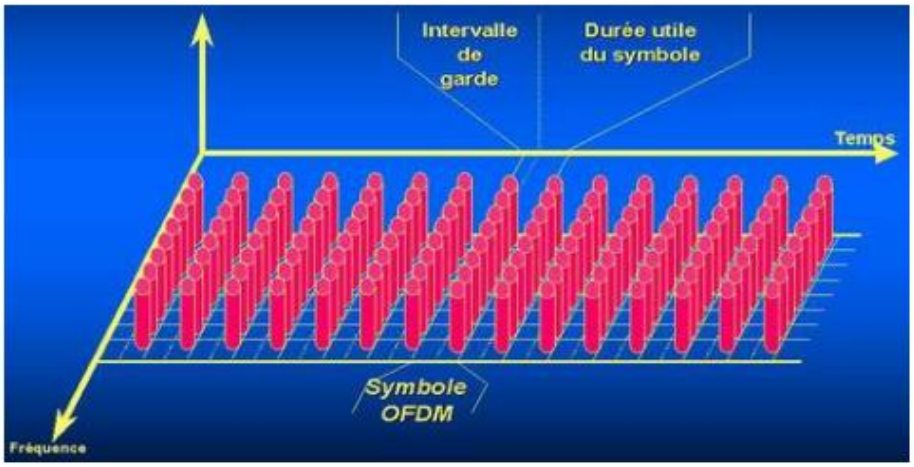


Figure 1.10 : *Représentation des symboles*

Une même suite de symbole arrivant à un récepteur par deux chemins différents se présente comme la même information arrivant à deux instants différents et qui s'additionnent. Ces échos provoquent deux types de défauts:

- L'interférence intra symbole : addition d'un symbole avec lui-même légèrement déphasé.
- L'interférence inter symbole : addition d'un symbole avec le suivant plus précédent légèrement déphasé.

Ainsi pour pallier ces problèmes d'interférences entre chaque symbole transmis, on insère une zone « morte » appelée : intervalle de garde. En fait, c'est un délai introduit entre la transmission de deux symboles OFDM consécutif dans laquelle on place une copie de la fin du symbole OFDM à transmettre afin d'absorber l'étalement des retards dus aux multi trajets. De plus, il faut choisir une durée utile d'un symbole suffisamment grande par rapport à l'étalement des échos.[9]

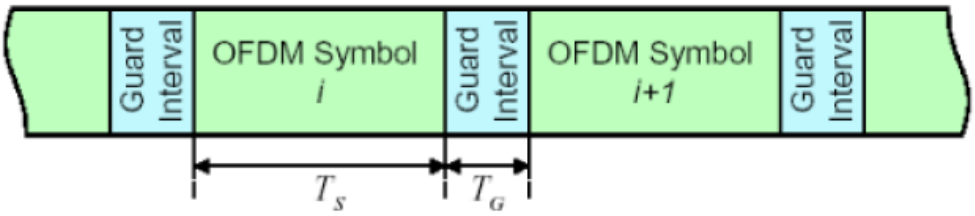


Figure 1.11 : *Intervalle de garde T_G*

Afin d'enlever totalement l'IES, il faut que la durée de l'intervalle de garde soit supérieure au retard maximum τ max du canal :

$$T_G \geq \tau$$

Avec $$\tau = t_2 - t_1 \qquad (1.01)$$

t_1 : C'est la durée nécessaire pour que l'onde se propage d'une antenne à l'autre par le trajet direct.

t_2 : C'est la durée nécessaire pour que l'onde se propage d'une antenne à l'autre par le trajet avec réflexion.

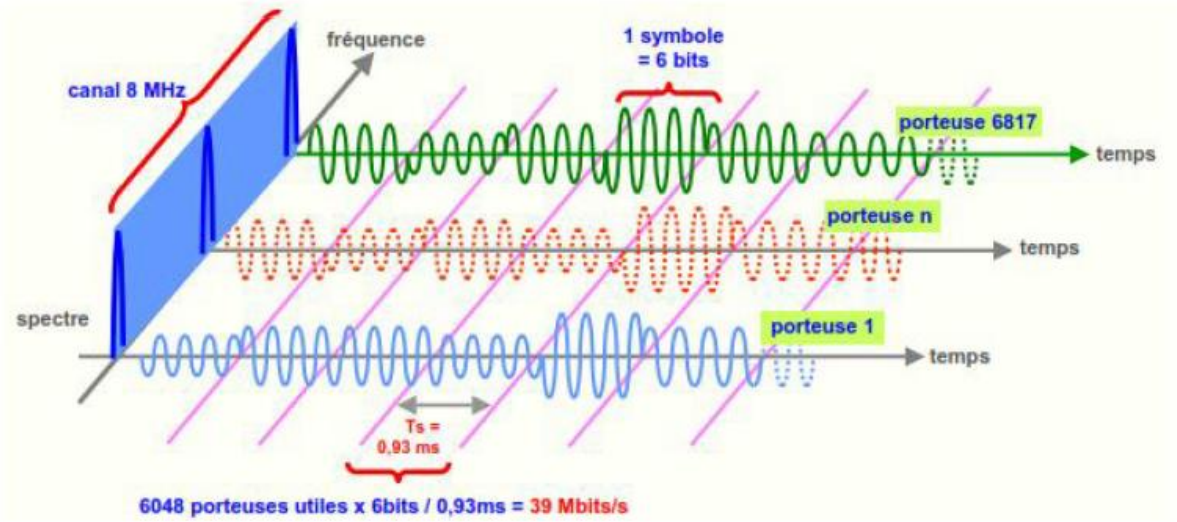


Figure 1.12: *signal OFDM*

La rapidité d'une modulation est de R= 1075 bauds qui donne une durée de symbole T s = 0.93s.

Ainsi, le signal OFDM émis avec 6817 porteuses espacées chacun de 1116 Hz dont 6048 transportant des informations « image et son » se présente comme la figure précédente la montre.

1.2.4 La modulation d'une porteuse

Le principe de la modulation est de changer la fréquence d'un signal ; le fait de changer la fréquence d'un signal est essentiel pour le transmettre. De fait, les signaux engendrés par un programme télévisé ne sont pas à la fréquence d'émission .La modulation comporte deux types de signaux :

- les signaux de référence appelés fréquences porteuses
- les signaux modulants.

Deux étapes résument la modulation :

On définit tout d'abord les fréquences précises d'émission des signaux audiovisuels. Ensuite on mélange les signaux de références avec les signaux modulants. Et on obtient alors les signaux audiovisuels à la fréquence voulue. Dans ce cas deux modulations sont nécessaires mais l'une est déjà étudiée au paragraphe précédent et la deuxième qui est le QAM sera présentée à la figure suivante avec ces constellations.[10][11]

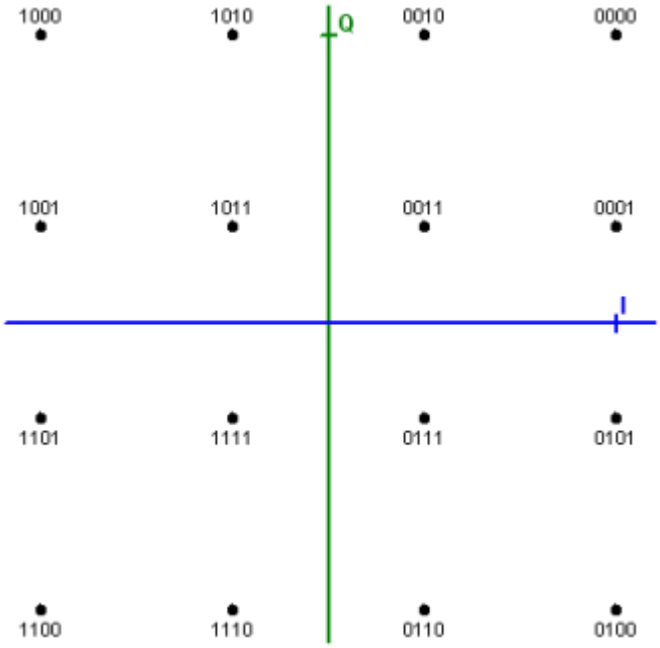


Figure 1.13 : *constellation QAM*

L'ensemble des combinaisons d'amplitudes et de phases vu sur cette figure, est appelé constellation QAM :

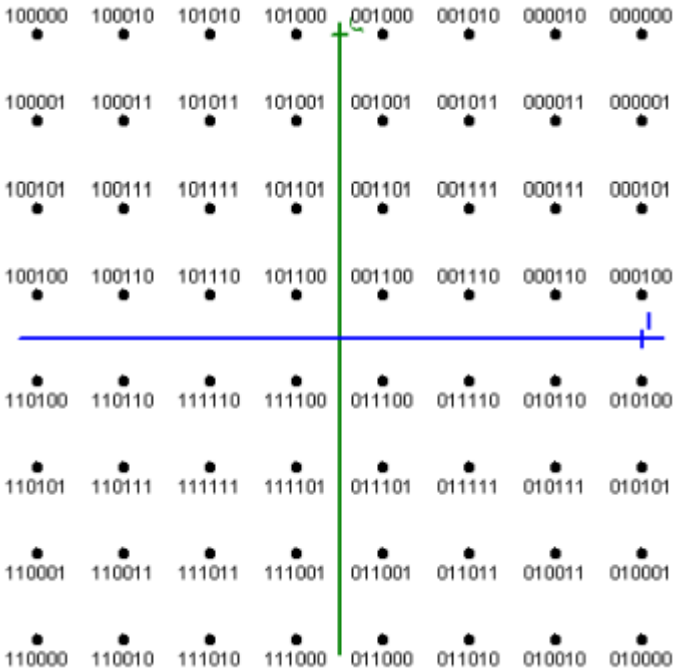


Figure 1.14: *64 QAM d'une porteuse*

En augmentant le nombre de valeurs d 'amplitudes et de phases, on peut augmenter le nombre de bits à transporter pour deux ondes en quadrature. Ainsi, si l'on code sur 6 bits, on obtient $2^6 = 64$ combinaisons possibles d'où la constellation QAM 64.

1.3 Mesure des erreurs à la réception

D'abord la réception des programmes numériques se fait selon 3 modes :

- Réception fixe : elle se fait à partir de l'antenne classique ou traditionnelle en toit dit râteau, utilisé dans la réception de la télévision analogique. Cependant pour avoir accès aux programmes numériques, les téléspectateurs possèdent deux alternatives : soit ils équipent leurs anciens postes téléviseurs d'un décodeur, soit ils achètent un nouveau téléviseur numérique intégré.

- Réception portable : dans lequel l'antenne intérieur est posée sur le téléviseur ou intégrée à ce dernier.
- Réception mobile : le récepteur est embarqué dans les véhicules en déplacement (bus, voiture,…)

En fait, en réception, c'est l'opération inverse de celui faite à l'émission qui sera effectuée. La figure suivante présente la structure d'une chaine de réception TNT.

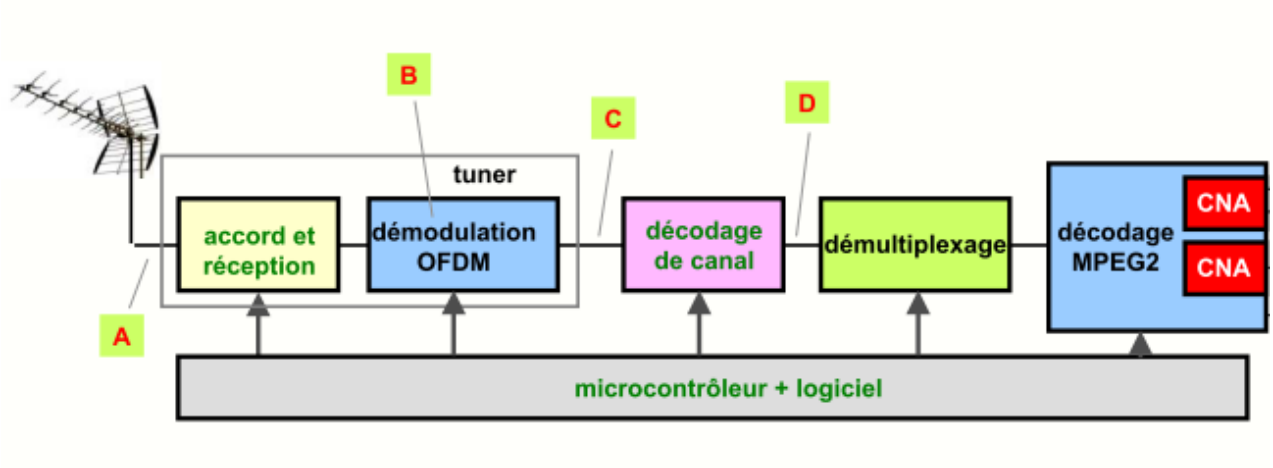


Figure 1.15: *Chaine de réception*

La qualité du signal reçu peut être surveillée selon les différentes étapes de traitement du signal suivant :

A : qualité du signal à l'antenne (puissance, rapport porteuse/bruit = C/N)

B : qualité de la modulation 64QAM (constellation, MER)

C : qualité du TS reçu avant correction des erreurs (CBER)

D : qualité du TS reçu après correction des erreurs (VBER)

En TV analogique, la qualité se dégrade progressivement selon le niveau reçu. La TNT présente un seuil brusque entre un fonctionnement correct et une perte totale d'image, les différents types de qualité d'image se présentent au tableau ci-dessous.[12]

Niveau à l'antenne	Qualité de l'image	CBER	VBER
55 dBµV	Tres bonne	$< 10^{-5}$	10^{-8}
50 dBµV	Minimum recommandé	10^{-4}	10^{-7}
45 dBµV	Encore satisfaisante	10^{-3}	
40 dBµV	Apparition des petits defauts	5.10^{-3}	10^{-4}
35 dBµV	Apparition des mosaiques, gels		
30 dBµV	Dysfonctionnements insupportables	10^{-2}	
25 dBµV	Ecran noir	$> 10^{-2}$	

Tableau 1.01 : *Echelle de Nueffer*

CBER : mesure faite avant les systèmes de correction. Elle est directement liée à la qualité de la transmission et varie à la moindre modification.

VBER : mesure effectuée après le décodeur de Viterbi.

Le seuil limite est atteint lorsque le CBER dépasse les 5.10^{-3}soit 1 erreur tous les 200 bits. Au-delà de ce seuil, la correction d'erreur n'est plus efficace et la qualité se dégrade rapidement. Si le niveau du signal est à proximité de l'antenne se situe de 1à 3m avec un niveau du signal de 30 à 35 dBµV il est souvent nécessaires d'ajouter un amplificateur mais au dessous de ce seuil il est inutile car le signal sera noyé dans le bruit.

Plus les années passent et plus la technologie évolue du jour au jour et à présent des nouveaux signaux rodent autour du signal reçu à l'antenne réceptrice de la TNT. La technologie en question est la 4G qu'on peut aussi l'appeler LTE.[13]

1.4 L'historique de la 4G

La 4G succède aux normes 3G et 2G. La 2G est apparue il y a plus de 20 ans avec les premiers téléphones mobiles qui ont permis de téléphoner, puis plus tard, d'envoyer des SMS. Le mobile a apporté la possibilité d'être joint et de rester joignable à tout moment, quel que soit l'endroit où l'on se trouve. En 2004, la 3G a permis de se connecter depuis son mobile à internet, de lire ses mails, de consulter des informations sur le web. De nouveaux types de téléphones, appelés smartphones, ainsi que de nouveaux modes de consommation et de services ont vu le jour avec, par exemple, le téléchargement d'applications. À peine 10 ans plus tard, alors que les opérateurs sont sur le point de finir la couverture de l'intégralité de la population française en 3G, une nouvelle technologie qui

permettra de rentrer dans la quatrième ère de la génération mobile fait son apparition, le LTE (Long Term Evolution) appelé plus communément 4G.

1.5 Introduction de la 4G

Les services de communications mobiles sont en train de suivre la même évolution que celle des services fixes, c'est-à-dire une transition accélérée vers l'accès à très haut débit. Ce sont les réseaux 4G qui permettent de répondre aux demandes croissantes des usages mobiles, tant en termes de qualité des services offerts que de capacité d'écoulement du trafic par les réseaux. Selon les critères de l'Union internationale des télécommunications (UIT), qui établit les normes pour les réseaux cellulaires, le vrai 4G devrait offrir des vitesses de téléchargement de 100 Mbit/s pour un utilisateur en mouvement et de 1 Gbit/s en mode stationnaire. Théoriquement, le LTE peut atteindre un débit de 50 Mb/s en lien montant et 100 Mb/s en lien descendant.

1.6 L'évolution de la radio mobile

La figure suivante montre un bref résumé de ces évolutions que nous détaillerons prochainement.

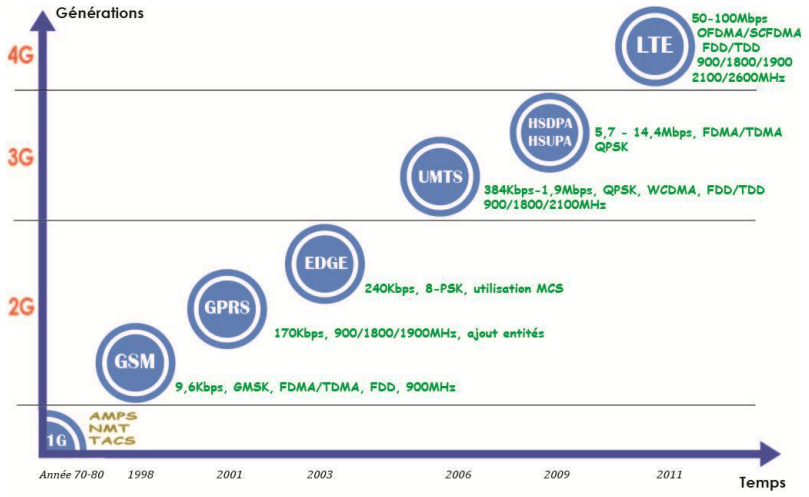


Figure 1.16 : *L'évolution de technologie des réseaux cellulaires*

Actuellement, il existe 4 générations de réseau mobile dont la différenciation se fait par la technique utilisé et l'évolution des services offerts. Le but de ces évolutions est d'accroitre la capacité du système en termes de débit et de réduire la latence du système. La latence étant le temps de réponse du système à une requête de l'utilisateur, et est un facteur clé de la perception des services de données par l'utilisateur.[14]

1.7 Le principe du LTE

La LTE vise à améliorer l'efficacité spectrale et à augmenter la capacité de gestion du nombre de mobiles dans une même cellule. Elle tente aussi d'offrir des débits élevés en situation de mobilité et à offrir une mobilité totale à l'utilisateur en établissant l'interopérabilité entre différentes technologies existantes. Elle vise à rendre le passage entre les réseaux transparent pour l'utilisateur, à éviter l'interruption des services durant le transfert intercellulaire, et à basculer l'utilisation vers le tout-IP.[15]

Les principaux objectifs visés par les réseaux de 4eme génération sont les suivants :

- Assurer la continuité de la session en cours.
- Réduire les délais et le trafic de signalisation.
- Fournir une meilleure qualité de service.
- Optimiser l'utilisation des ressources.
- Réduire le délai de relève, le délai de bout-en-bout, la gigue et la perte de paquets.
- Minimiser le coût de signalisation.

1.8 Caractéristiques de l'accès au LTE

1.8.1 Connexion permanente

Parmi les objectifs les plus importants de l'accès à haut débit, on retrouve la connexion permanente à l'Internet. Même si la connexion est permanente au niveau du réseau, il est toujours nécessaire pour le terminal de passer de l'état IDLE à l'état ACTIF lorsqu'il veut échanger du trafic avec d'autres terminaux. Ce changement d'état se réalise en moins de 100 ms.

Le principe de ce réseau, est qu'il peut recevoir le trafic de tout terminal rattaché, puisque ce dernier dispose d'une adresse IP. La procédure sert à mettre en mémoire les données, ensuite de réaliser l'opération de « paging » afin de localiser le terminal et lui demander de réserver et de préparer des ressources pour lui acheminer le trafic.[16]

1.8.2 Délai pour la transmission de données

Le délai pour la transmission de données est de moins de 5 ms entre l'équipement utilisateur (UE) et « l'Access Gateway» (passerelle d'accès) dans une situation de non charge où un seul terminal est actif sur l'interface radio. La valeur moyenne du délai devrait avoisiner les 25 ms en situation de charge moyenne. Ainsi, il permet de supporter les services en temps réel IP nativement, comme la voix et le « streaming » sur IP.

1.8.3 La mobilité et le Handover

Le handover est la fonction la plus intéressante, elle s'occupe de signalisation et prend les décisions relatives au passage entre les cellules. Avec le facteur de la mobilité, la technologie assure le bon fonctionnement à des vitesses comprises entre 120 et 350 km/h où le « handover » pourra s'effectuer, LTE ne permet que le « hard handover » et non pas le « soft handover » dans des conditions où l'usager se déplace à grande vitesse comme démontrer dans la figure 1.17. [17]

Il existe deux types d'handover :

- Hard Handover : Début du nouveau service avec la nouvelle BS après la déconnexion avec l'ancienne BS (délai d'arrêt). La station communique avec une seule BS.
- Soft Handover : Début du nouveau service avec la nouvelle BS avant la déconnexion avec l'ancienne BS (pas de délai d'arrêt). La MS communique avec plusieurs BSs en même temps, et maintient une liste de BSs active.

Figure 1.17 : *Le « hard-handover »*

Figure 1.18: *« Soft-handover »*

1.8.4 Coexistence et Interfonctionnement avec la 3G

Il s'agira de garantir et d'assurer que le « handover » entre LTE et la 2G/3G soit toujours possible. De plus, le « handover » pourra également s'effectuer entre LTE et les réseaux CDMA-2000. Les opérateurs qui utilisent le CDMA (Code Division Multiple Access) évolueront aussi vers la LTE qui deviendrait prochainement le standard de communication mobile de 4eme génération

1.8.5 Débit sur l'interface radio

La technologie LTE offre un débit de 100 Mbit/s pour le flux descendant et de 50 Mbit/s pour le flux ascendant. Pour ce qui est de l'interface radio E-UTRAN, elle doit avoir la possibilité de supporter un débit maximum. L'allocation d'une bande passante 20 MHz supporte un débit de 100 Mbit/s pour le sens descendant et de 50 Mbit/s pour le sens ascendant. Les technologies utilisées pour atteindre ces objectifs sont OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) pour le sens descendant et SC-FDMA (Single Carrier - Frequency Division Multiple Access) pour le sens ascendant. Par exemple, l'efficacité du spectre de 5 bit/s/Hz pour le sens descendant et 2,5 bit/s/Hz pour le sens ascendant avec une bande passante de 20 MHz permet d'atteindre des débits de 100 Mbit/s et 50 Mbit/s. On considère la technologie HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) lorsque l'efficacité spectrale est de 2,9 bit/s/Hz dans le sens descendant pour atteindre une vitesse de 14,4 Mbit/s. On est obligé d'allouer une bande passante de 5 MHz. Par contre, la technologie LTE, nous donne la possibilité d'opérer avec une bande de fréquence comprise entre: 1.25, 2.5, 5, 10, 15 et 20 MHz. L'intention de cette flexibilité est de permettre un déploiement en fonction des besoins des opérateurs et des services qu'ils souhaitent proposer.[18][19]

1.8.6 Les technologies OFDMA et SC-FDMA

1.8.6.1 L'OFDMA

En OFDM, la granularité fréquentielle fournie par le découpage de la bande du système en sous-porteuse permet de multiplexer aisément différents utilisateurs, ou différents canaux, en leur allouant des sous-porteuses différents. L'accès multiple selon ce principe est ce qu'on appelle OFDMA. Ce dernier permet de dimensionner le nombre de sous-porteuses allouées à un UE en fonction de ses besoins en débit comme le montre la figure 1.19.

1.8.6.2 Le SC-FDMA

Le SC-FDMA est une variante de l'OFDM utilisée dans la voie montante du LTE. Il peut être mis en œuvre à l'aide d'un modulateur OFDM auquel on ajoute un recodage des symboles à transmettre par une DFT (Discrete Fourier Transform), [1] [7] [8]. Le principe d'un tel modulateur est décrit à la Figure 2.13. De la manière similaire à l'OFDM, le signal dans le domaine temporel correspondant au bloc de symboles de modulations d'entrée est appelé un symbole SC-FDMA [19].

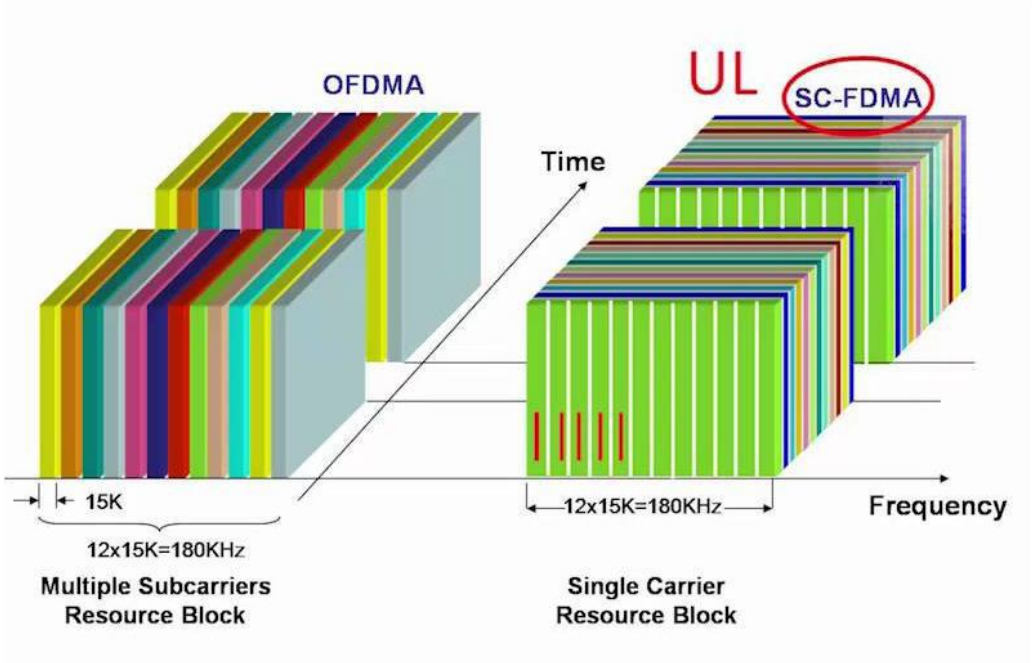


Figure 1.19 : *Principe OFDMA et SC-FDMA*

Les sous-porteuses allouées à un UE donné ont la contrainte d'être toutes contiguës. Le recodage DFT et la contrainte de contiguïté ont pour effet de restaurer la propriété de transmission mono-

porteuse. Dans le cas d'une largeur de bande de DFT plus petite que celle du système, le SC-FDMA crée une transmission mono-porteuse occupant le bloc de ressources alloué [20], comme illustré à la Figure 1.19. C'est de ce cas qu'on l'appelle SC-FDMA.

Remarque : La différence majeure entre l'OFDMA et le SC-FDMA, réside dans le fait que l'OFDMA est une technique de transmission multi-porteuse tandis que la SC-FDMA est une technique mono-porteuse.

1.9 L'architecture du LTE

Les réseaux LTE sont des réseaux cellulaires constitués de milliers de cellules radio qui utilisent les mêmes fréquences hertziennes, grâce aux codages radio OFDMA et SC-FDMA.

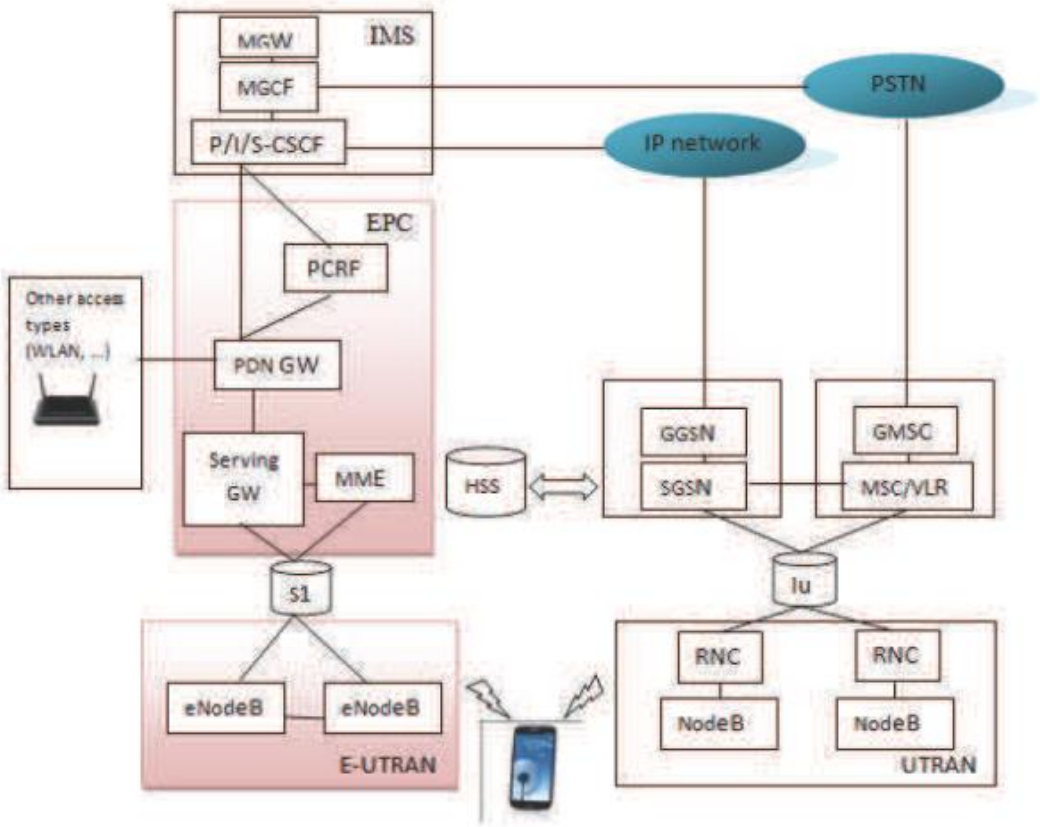


Figure 1.20 : *Architecture générale du LTE*

L'architecture générale du LTE est constituée les 3 principaux blocs suivant :

- L'EPC (Evolved Packet Core)
- E-UTRAN
- IMS (IP Multimedia Sub-system)

1.9.1 L'EPC (Evolved Packet Core)

Le cœur de réseau appelé « EPC » (Evolved Packet Core) utilise des technologies « full IP », c'est-à-dire basées sur les protocoles Internet pour la signalisation qui permet des temps de latence réduits, le transport de la voix et des données. Ce cœur de réseau permet l'interconnexion via des routeurs avec les autres eNodeB distants, les réseaux des autres opérateurs mobiles, les réseaux de téléphonie fixe et le réseau Internet.

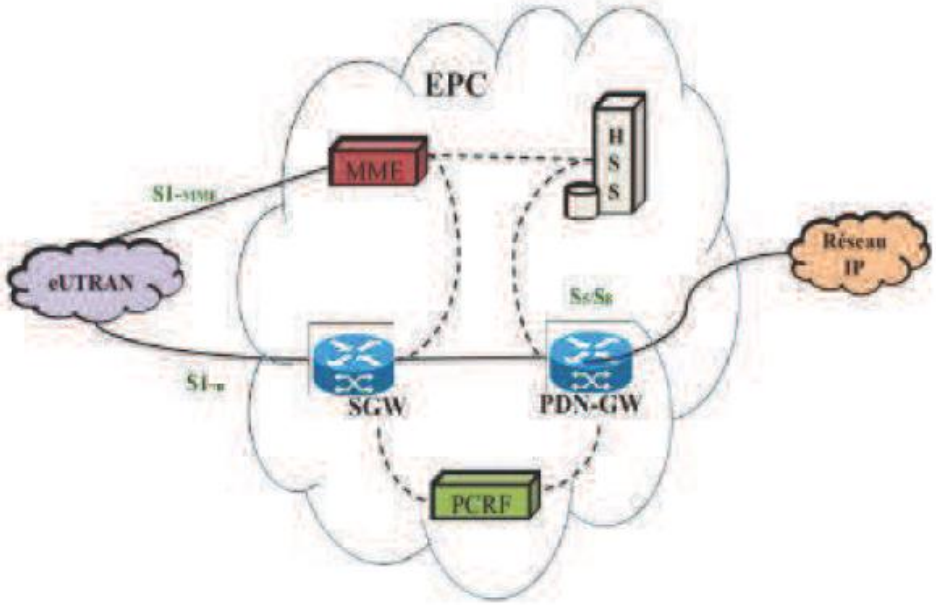


Figure 1.21 : *Architecture du réseau cœur EPC*

1.9.1.1 Le MME (Mobility Management Entity)

Cette partie est responsable de la localisation et la poursuite du terminal mobile (UE) entre les appels et la sélection d'une bonne S-GW (Serving-GetWay) à travers une connexion. Comme elle réalise le dernier point de la protection par codage, donc par conséquent c'est le point qui valide l'interception de signalisation. Ainsi, qu'elle contrôle le signal entre le UE (Utilisateur Equipment) et le réseau cœur, et assure l'établissement, la maintenance, et l'élargissement de la porteuse radio services.[21]

1.9.1.2 Le HSS (Home Suscriber Service)

Base de données similaire au HLR en GSM / WCDMA réseau cœur qui contient les informations des abonnées voisins, et porte l'appel de control et la session management. Elle

est principalement désignée à l'authentification, l'autorisation, la sécurité, le débit et fournit une localisation détaillée à l'utilisateur.

1.9.1.3 PDN-GW (Packet Data Network GateWay)

Est une porteuse du chemin de données entre UE et PDN (Packet Data Network) à trois segments:

- La porteuse radio entre UE et eNodeB.
- La porteuse des données entre eNodeB et SGW.
- La porteuse des données entre SGW et PGW.

1.9.1.4 PCRF (Policy and Charging Rules Function)

Responsable sur la décision principale du control. Il fournit une QoS d'autorisation pour décider le traitement des données en respectant l'abonnement des utilisateurs.

1.9.1.5 SGW (Serving GateWay)

C'est la jonction principale entre le réseau radio accès et le réseau cœur. Le SGW achemine les paquets de données, maintient la connexion de l'inter-eNodeB handover, puis inter-système handover entre LTE et GSM/UMTS et réserve le contexte du terminal mobile (UE), comme les paramètres de la porteuse service et le routage des informations.

1.9.1.6 P-GW (Packet-Switch GetWay)

Le P-GW fournit la connectivité au terminal mobile (UE) vers le paquet externe du réseau de l'information et alloue les adresses IP d'un UE, ainsi que les applications de la QoS, et maintient la connexion mobile entre LTE/UMTS/GSM systèmes et le non 3GPP (3^{rd}Generation Partnership Project système).

1.9.1.7 SGSN (Serving GRPS Support Nom)

Il assure l'interconnexion du LTE, UMTS, et le réseau GSM pour augmenter la mobilité.

1.9.2 L'E-UTRAN (Evolved-Universal Terrestrial Radio Access)

La partie radio du réseau, appelée « eUTRAN » est simplifiée par rapport à celles des réseaux 2G (BSS) et 3G (UTRAN) par l'intégration dans les stations de base « eNodeB » avec des liaisons en fibres optiques et des liens IP reliant les eNodeB entre eux. Ainsi que des fonctions de contrôle qui étaient auparavant implémentées dans les RNC (Radio Network Controller) des réseaux 3G UMTS. Cette partie est responsable sur le management des ressources radio, la porteuse, la compression, la sécurité, et la connectivité vers le réseau cœur évolué.

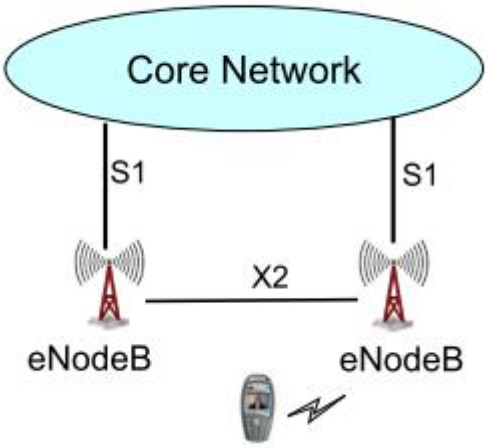


Figure 1.22 : *Architecture E-UTRAN*

L'eNodeB est l'équivalent de la BTS dans le réseau GSM et NodeB dans l'UMTS, la fonctionnalité de handover est plus robuste dans LTE. Ce sont des antennes qui relient les UE avec le réseau cœur du LTE. Le résultat est plus efficace, et le réseau est moins latent, par exemple la mobilité est déterminée par eNodeB a la place de BSC ou RNC.

1.9.3 La partie IMS (IP Multimedia Sub-system)

L'IMS est une architecture standardisée NGN (Next Generation Network) pour les opérateurs de téléphonie, qui permet de fournir des services multimédias fixes et mobiles. Cette architecture utilise la technologie VoIP ainsi qu'une implémentation 3GPP standardisée. Les systèmes téléphoniques existants (commutation de paquets et commutation de circuits) sont pris en charge. L'objectif d'IMS n'est pas seulement de permettre de nouveaux services, existants ou futurs, proposés sur Internet, les utilisateurs doivent aussi être capables d'utiliser ces services aussi bien en

déplacement (situation de roaming) que depuis chez eux. Voici donc quelques exemples que l'IMS peut assurer :

- Echange de fichiers pendant un appel.
- Un usager peut créer une règle qui le montre connecté après une certaine heure et rejette tous les appels en provenance d'un appelant de son groupe professionnel.
- Un usager peut activer la sonnerie au niveau de tous ses appareils en fonction de l'appelant.
- Messagerie instantanée et vidéo conférence.

1.10 Les services offerts par le LTE

Une nouvelle génération de système mobile permet généralement l'introduction des nouveaux services et pour le LTE, les services sont tous à base de transfert IP. Il est aussi impératif de fournir les services présents dans les générations inférieures mais avec des améliorations. Les exemples de services offerts sont : la navigation web, le vidéo streaming, le transfert de fichier FTP, la voix sur IP.

1.11 La qualité de services

Le réseau LTE offre ces applications citées, qui ont besoins de QoS. Il existe donc un concept mis en œuvre pour assigner la QoS selon les flux de paquets pour faciliter la prise en compte des contraintes de services.

Ce concept se pose sur deux questions :

- Le service est-il temps-réel ou non temps-réel ?
- Le service tolère-t-il des erreurs de transmission ?

La connaissance de la réponse de ces questions peut donc faciliter l'attribution de QoS sur chaque service. Par exemple, services temps-réel requièrent des délais de transmission courts mais peuvent tolérer des erreurs de transmission, comme les appels vocaux et les vidéos streaming. Par contre, les services non temps-réel n'exigent pas trop un délai de transmission court mais ne tolèrent pas les erreurs de transmission, à l'instar le téléchargement des fichiers.

1.12 Conclusion

Le concept de la technologie LTE a été introduit dans ce chapitre. On constate qu'elle apporte beaucoup de simplicité au niveau de l'architecture qu'au niveau de la gestion de mobilité. On voit aussi une augmentation considérable de débit dans les deux sens et aussi la gestion des utilisateurs se déplaçant jusqu'à 350 Km/h. Une bonne connaissance de ces aspects physiques de ce réseau permet aux planificateurs de mieux gérer son déploiement.

CHAPITRE 2
LA LIAISON HERTZIENNE

2.1 Introduction

Dès ses débuts, la technique de télécommunication ou le système de communication à utiliser des fils métalliques pour guider les signaux porteurs d'informations, puis elle s'est affichée de cette liaison matérielle entre émetteur et récepteur pour faire en usage direct du rayonnement omnidirectionnel (radiodiffusion) ou plus ou moins étroitement dirigé des ondes électromagnétiques. D'où la naissance de faisceau hertzien. Ce dernier est défini comme étant un système de transmission de signaux, aujourd'hui principalement numériques. Il utilise comme support les ondes radioélectriques, avec des fréquences porteuses de 1 GHz à 40 GHz,

2.2 Propagation dans l'environnement terrestre

Lorsqu'on effectue sur la terre une transmission entre un émetteur et un récepteur, le récepteur reçoit une onde directe émise par l'émetteur mais aussi une onde réfléchie. La réflexion peut se faire sur la terre, sur la mer, mais parfois aussi sur les hautes couches de l'atmosphère (ionosphère).

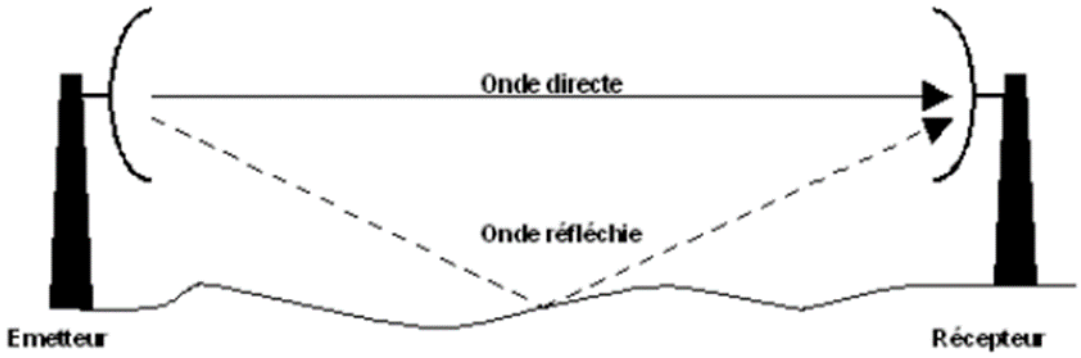


Figure 2.1 : *Liaison hertzienne*

L'onde directe est celle qui parcourt le chemin le plus court (la ligne droite). L'onde réfléchie parcourt toujours une distance plus importante que l'onde directe. Les deux ondes arrivent donc déphasées au récepteur.[23]

On donne ici les principaux modes de propagation en fonction de la fréquence :

- Entre 3 KHz et 3 MHz : la propagation se fait par onde de sol. C'est le cas des grandes ondes.
- Entre 3 MHz et 30 MHz : la propagation se fait par réflexion sur l'ionosphère mais l'onde de sol et l'onde directe existent aussi.
- Entre 30 MHz et 3 GHz : la propagation se fait par onde directe mais aussi par réflexion sur le sol (trajets multiples). C'est le cas de la télévision terrestre, du téléphone mobile.
- Entre 3 GHz et 30 GHz : la propagation se fait par onde directe, il y a peu de réflexions sur le sol car les antennes sont très directives (paraboles). C'est le cas des faisceaux hertziens et de la télévision par satellite.

2.3 Les facteurs influençant la propagation

L'une des méthodes de prévision les plus élaborées pour la conception de liaisons hertziennes en vue directe est donnée par la recommandation UIT-R P.530-8, qui permet de prévoir les paramètres de propagation les plus importants.[23]
Au cours de sa propagation, l'onde hertzienne subit principalement trois types d'atténuations :

- Celle correspondant à son rayonnement en espace libre, qui est fixe, et toujours présente (de l'ordre de 140 dB en général), et de plus parfois accentuée par la présence d'obstacles
- Celle provenant ensuite des variations aléatoires des conditions climatologiques : guidage, et précipitations (pertes possibles d'une trentaine de dB)
- Celles des phénomènes d'interférences, conséquences de la réflexion principale, ou de multi-trajets (pertes possibles d'une trentaine de dB)

2.4 Propagation en espace libre

La station émettrice rayonne. Les ondes électromagnétiques véhiculent une énergie par unité de surface qui décroît comme le carré de la distance De plus, sur l'ensemble du trajet parcouru par l'onde, il est impératif de veiller au dégagement de la liaison. Relief, végétation, bâtiment interceptant le faisceau entraînent des pertes dont il faut tenir compte .L'essentiel de l'énergie est concentrée dans la zone que l'on appelle premier ellipsoïde de Fresnel. L'étendue de cette zone (quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres) varie proportionnellement avec la longueur d'onde et la longueur de la liaison. On veille donc au dégagement de ce volume.

2.4.1 Réfraction atmosphérique

Il faut tenir compte pour la définition de cette zone des conditions de l'atmosphère le long du trajet de l'onde. En effet, les rayons ne se propagent pas en ligne droite, mais suivent préférentiellement les zones de fort indice électromagnétique, soit les couches de l'atmosphère les plus denses. C'est la réfraction atmosphérique.

En fonction des paramètres climatiques, la disposition de ces couches change. Les rayons hertziens sont donc plus ou moins courbés vers la terre (super réfraction), ou au contraire, « pointent » vers le ciel (infra réfraction). Dans ce dernier cas, le dégagement de la liaison est rendu plus difficile .Il est donc nécessaire de mener des études statistiques pour quantifier la durée au cours de laquelle ces phénomènes pourront nuire à la qualité de la liaison, et avec quelle intensité.

On remarque que pour l'ensemble des calculs, cela revient à donner une courbure moyenne au rayon. On introduit donc un « rayon terrestre apparent », tenant compte de la déformation virtuelle de la terre vis-à-vis des ondes propagées. Il est déduit du rayon réel par un paramètre, appelé «facteur K», traduisant le gradient vertical de coïncide de réfraction. Sa valeur médiane en Europe est d'environ 4/3.

2.4.2 Dégagement / diffraction

L'ellipsoïde de Fresnel est parfois partiellement obstrué par un obstacle. On distingue habituellement trois types d'obstacle :

- lame, pour des obstacles « minces »,
- rugueux, pour une paire d'obstacles de type « lame »
- sphérique, pour des obstacles obstruant le faisceau sur une distance importante.

Pour chacun, des méthodes de calcul permettent de prévoir l'atténuation supplémentaire à prendre en compte dans les bilans. Dans le cas où l'obstacle obstrue sur une portion trop importante le rayon, la liaison peut toujours être établie, mais cette fois-ci par diffraction (méthode de calcul spécifique).

2.5 Affaiblissement en espace libre

Lorsque le trajet de propagation est entièrement dégagé, l'affaiblissement entre les deux antennes d'un bond de FH est donné par la formule suivante :

$$a = \frac{p_e}{p_r} = \frac{(\frac{4\pi d}{\lambda})^2}{g_e g_r} \quad (2.01)$$

Dans laquelle :

a : est l'affaiblissement, rapport de la puissance émise p_e à la puissance reçue p_r

p_e : Puissance émise

p_r: Puissance reçue

d : est la distance entre les deux antennes

λ: Est la longueur d'onde, exprimée dans la même unité que d

g_e : Gain de l'antenne émettrice

g_r : Gain de l'antenne réceptrice

2.6 Atténuation

En supposant qu'une antenne émettrice produise une onde sphérique et que celle-ci se propage en espace libre (milieu homogène, isotrope, libre de tout obstacle), la puissance rayonnée P_{ray} par une antenne de gain $G_e$et excitée par une puissance P_e à une distance d est donnée par

$$P_{ray} = \frac{P_e \ G_e}{(4\pi d)^2} \quad (2.02)$$

La puissance reçue Pr par une antenne de gain Gr est donnée par la formule suivante appelée formule de Friis

$$P_r = \frac{P_e \ G_e \ G_r}{(4\pi \frac{d}{\lambda})^2} \quad (2.03)$$

La puissance reçue diminue avec le carré de la distance. Il s'agit d'une perte de propagation aussi appelée Path Loss. Cette perte de propagation en espace libre L_p peut s'écrire.

$$L_p = \frac{P_e \ G_e}{P_r \ G_r} = \frac{\lambda^2}{(4\pi d)^2} = (\frac{4\pi d f}{c})^2 \quad (2.04)$$

Celui-ci peut être déterminé par l'équation fondamentale des télécommunications suivante :

$$L_p = 32.4 + 20\log(f) + 20\log(d) \quad (2.05)$$

Où:

- f est la fréquence en MHz,
- d la distance en km.

L'atténuation dans les arbres est calculée par la formule de Weissberger suivante :

$$L=0.45F^{0.284}\ d_f \quad (2.06)$$

L : Atténuation en dB

F : Fréquence en GHz

d_f : Distance de propagation dans les arbres

2.7 Quelques définitions

2.7.1 Ondes radioélectriques

Ce sont des ondes utilisées par un faisceau hertzien .Dans ces systèmes, ces ondes sont très courtes (ondes radioélectriques très fortement concentrées à l'aide d'antennes directives. Pour la communication terrestre on utilise : 1,5 à 30 GHz, il peut aussi commencer à des fréquences 400 MHz à 1000 GHz) dont l'affaiblissement croît comme le carré de la distance (moins rapidement que sur un câble où l'affaiblissement est exponentielle).[24]

2.7.2 Les liaisons radioélectriques

Les liaisons radioélectriques utilisent la propagation des ondes électromagnétiques dans l'air libre. Elles ont l'avantage de ne pas nécessiter de lourds travaux d'infrastructure. Cependant le support utilisé est commun à tout le monde.

2.7.3 Les faisceaux hertziens

Un faisceau hertzien est un système de télécommunication c'est-à-dire qu'il est un système de transmission de signaux, composé de deux extrémités, qui permet de transporter des informations d'un point à un autre.

La liaison peut être monodirectionnelle ou bilatérale et généralement permanente. Il exploite le support d'ondes radioélectriques, par des fréquences porteuses allant de 1 GHz à 40 GHz (gamme des micro-ondes) focalisées et concentrées grâce à des antennes directives.

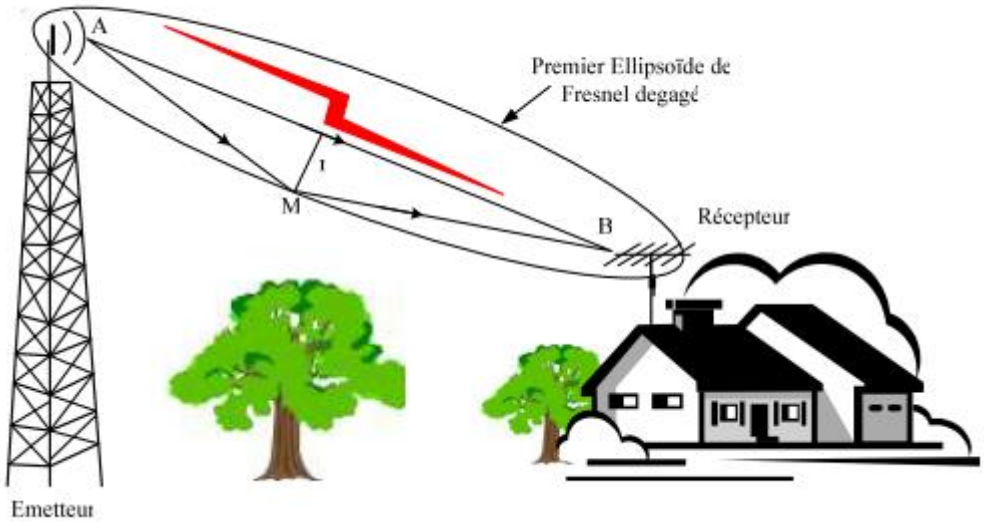


Figure 2.02 : *Schéma de principe d'une connexion par faisceau hertzien*

$$MA+MB=AB+\frac{\lambda}{2} = d + \frac{\lambda}{2} \qquad (2.07)$$

Du fait de l'absence de tout support physique entre les stations, les faisceaux hertziens peuvent surmonter plus facilement des difficultés des parcours et franchir des obstacles naturels tels que : étendues d'eau, terrains montagneux, terrains fortement brisés.

2.8 Les différents type de FH

2.8.1 Les types de FH

On distingue 3 types de FH selon sa distance et sa capacité :

- FH à longue distance et forte capacité: ils forment, avec les câbles, l'infrastructure des transmissions sur un territoire national. Lorsque le réseau est dense, il devient maillé, car les liaisons se croisent.

- FH à courte distance et faible capacité: ils transmettent le trafic régional, à partir d'un nœud ou d'une station relais d'un FH à forte capacité permettant l'extraction et l'insertion de signaux. Leur capacité est plus faible, mais leur nombre est plus élevé.
- FH transportables : ils servent aux reportages en télévision et à l'établissement de liaisons temporaires, en remplacement d'une liaison fixe par FH ou par câble gravement endommagée, ou pour des événements occasionnels (manifestation sportive, politique, touristique, etc.).

2.8.2 Les types de liaison par FH(Faisceau Hertzien)

Il existe trois différents types de liaisons par FH :

- Liaisons à visibilité
- Liaisons transhorizon
- Liaison par satellite

Une liaison peut s'établir en visibilité directe entre plusieurs stations sur des points hauts. Elle a une portée variant de 10 à 60 Km, mais la distance qui est souvent utilisée est de 50 Km.

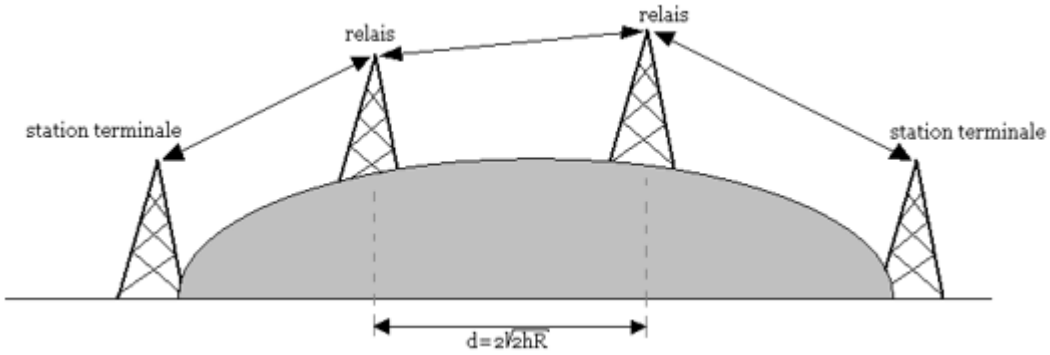


Figure 2.03 : *Exemple de liaison transhorizon, dont les liaisons entre relais sont en visibilité*

La distance qui sépare deux antennes à visibilité directe (sans obstacle) est définie par l'égalité de Fresnel suivante :

$$d= 2\sqrt{2hR} \qquad (2.08)$$

d : distance entre deux antennes

h : hauteur de l'antenne

R : Rayon de la terre 6400 km

Le bon fonctionnement des liaisons FH est conditionné par les caractéristiques des distances entre les stations et par celle des antennes utilisées. Ces antennes sont en visibilité directe donc dégagées de tout obstacle et avec des réflexions, des phénomènes de réfraction et de diffraction négligeables.

Sur le cas où les antennes ont des différentes hauteurs, la distance qui sépare deux antennes est la suivante :

$$d= \sqrt{2h_tR} + \sqrt{2h_rR} \qquad (2.09)$$

h_t : Hauteur de l'antenne d'émission

h_r : Hauteur de l'antenne de réception

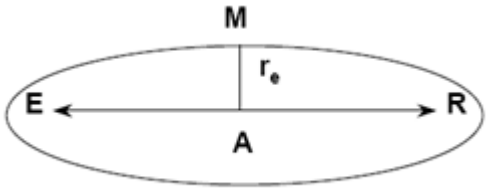


Figure 2.04 : *Propagation en visibilité directe*

Le lieu de M est un ellipsoïde de foyers E et R appelé ellipsoïde de Fresnel. n=1 : 1er ellipsoïde qui délimite l'espace où la plus grande partie de l'énergie se propage entre E et R et doit donc être dégagé de tout obstacle (sinon diffraction). La distance AM est calculée par la relation suivante :

$$r_e = \frac{1}{2}\sqrt{\lambda d} \qquad (2.10)$$

2.8.3 Les fréquences porteuses utilisées en FH

Les bandes de fréquences utilisées en FH sont divisées en :

- FH à bande étroites (70-80 MHz)
- FH à petites capacités (400-470 MHz)

Mais normalement, les faisceaux hertziens utilisent des fréquences supérieures à 1,5 GHz (ondes centimétriques). Entre 2 et 11 GHz, l'établissement des liaisons ne pose pas de problèmes majeurs (conditions de propagation, mais au-delà de 11 GHz, il faut tenir compte de l'absorption par les hydrométéores. Cette absorption croît avec la fréquence et devient très importante aux alentours de 22 GHz.

Ce qui limite les fréquences porteuses à 21 GHz mais certaines bandes des fréquences généralement comprise entre 2 et 1,5 GHz. Cette large gamme de fréquence est subdivisée en plusieurs parties appelées bande de fréquence. Chacune de cette bande étant décomposée en canaux dont la disposition est normalisée internationalement par le CCIR (Comité consultatif International des Radiocommunications) :

- Chaque bande peut être divisée en deux spots bandes espacées par un intervalle de garde.
- Le choix des sous bandes à utiliser pour l'émission er de celle à utiliser pour la réception dépend de l'utilisateur.
- Les sous bandes sont à leur tour subdivisée canaux de 14 à 140 MHz de largeur (pour les FH de grande capacité) ou 7 MHz (capacité inférieure ou égale à 300 voies).
- La disposition des canaux est normalisée par le CCIR.
- Chaque canal a une capacité en fonction de sa largeur, qui peut aller jusqu'à un débit de 140 Mbits/s.

Les bandes de fréquence représentent donc une ressource rare et leur utilisation est réglementée par des organismes officiels nationaux. Etant donné que les bandes de fréquence utilisées sont imposées, le signal à transmettre sera toujours transposé en fréquence par modulation.

2.9 Eléments constitutifs d’une liaison hertzienne

Le FH s’appuie sur des équipements indoor et des équipements outdoor qui ne fonctionne qu’ensemble.

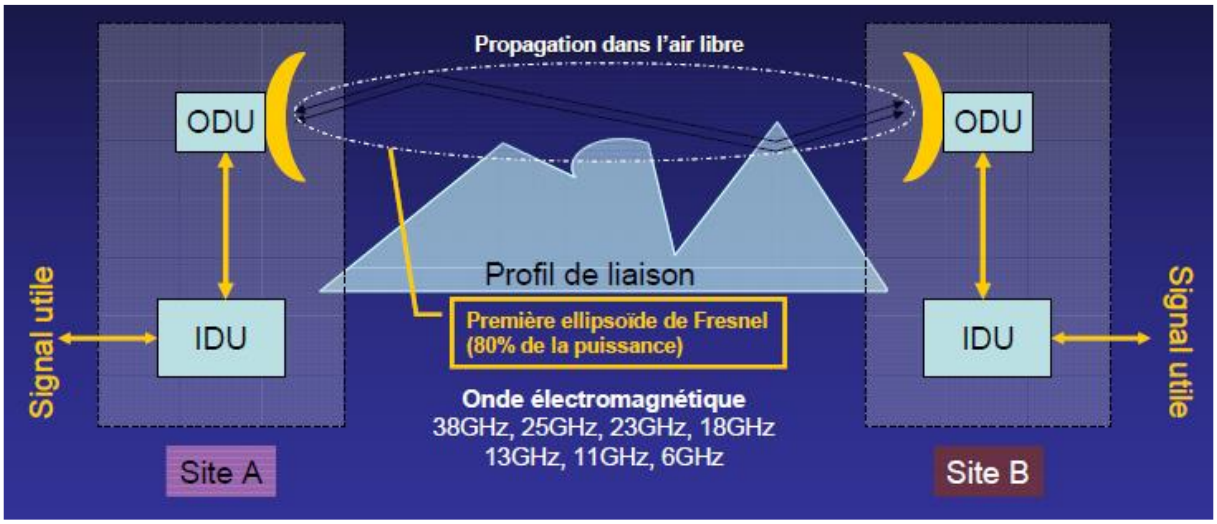


Figure 2.05: *Eléments constitutifs d'une liaison FH*

IDU = InDoor Unit, partie qui gère le multiplexage et la bande de base

ODU = OutDoor Unit, partie qui gère l'émission à Haute Fréquence

2.10 Organisation fonctionnelle d'un émetteur-récepteur

La liaison par voie radioélectrique peut se décomposer en 3 parties :

- l'émetteur
- le canal de transmission
- le récepteur.

Le rôle de l'émetteur est de convertir le message à transmettre sous forme d'un signal électrique modulé et transposé à la fréquence d'émission, puis d'amplifier en puissance et d'émettre sur l'antenne.

Quant au récepteur, à partir d'une autre antenne, il devra restituer le message le plus fidèlement et faiblement possible.

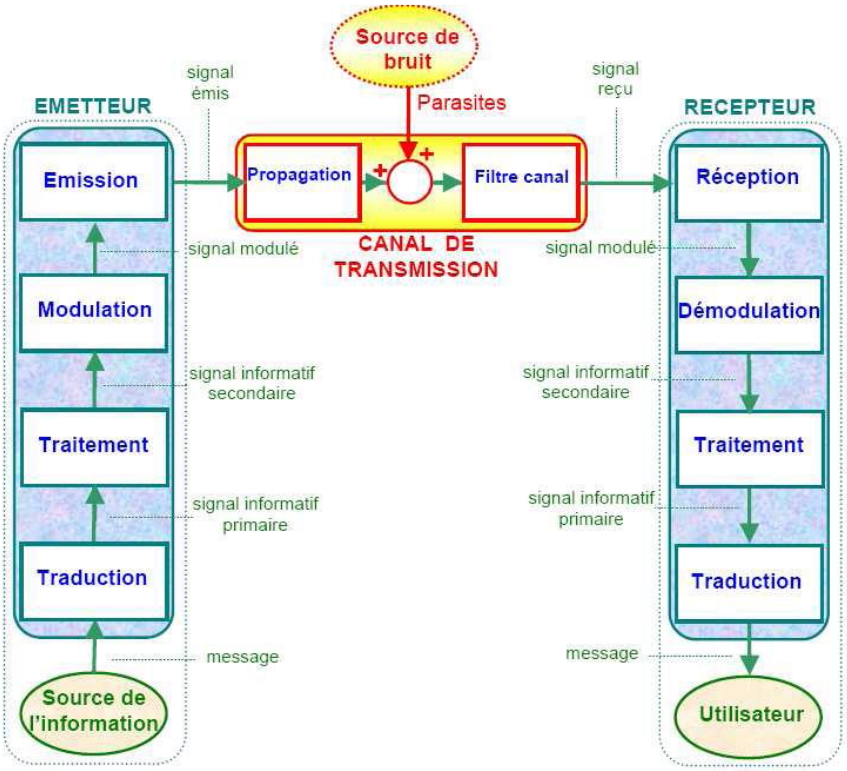


Figure 2.05 : *Schéma fonctionnel d'une transmission*

<u>Description des fonctions utilisées</u>

- **Traduction** : permet de convertir un signal (par exemple la voie) en un signal électrique, via un microphone. Inversement, elle convertit un signal électrique en un son via un haut-parleur.
- **Traitement** : il peut s'agir simplement d'une amplification linéaire, de préaccentuation (Gain variable avec la fréquence)
- **Modulation** : elle a pour fonction de transposer l'information sur une porteuse, afin d'occuper un espace fréquentiel réduit pour une bande donnée et de ne pas perturber les voies adjacentes. On module une porteuse sinusoïdale (spectre composé par une raie unique) par le signal transportant l'information. La modulation ayant pour effet de reporter le spectre du signal informatif au voisinage d'une fréquence f0 plus élevée située dans un domaine favorable à la propagation. La modulation consiste à faire varier l'un des paramètres de la porteuse f0, soit l'amplitude, soit la fréquence, soit la phase proportionnellement au signal informatif.
- **Canal** : Un canal indique le milieu dans lequel se propage le signal. Mais il indique aussi la partie plus ou moins large du spectre occupé. Il peut être désigné par un code (en télévision

par exemple), soit par sa fréquence centrale (en radiodiffusion FM). Sa largeur dépend du type d'application, avec 8MHz pour un canal TV, environ 250kHz pour un canal FM et 12,599kHz en téléphonie.

- **Démodulation** : c'est l'opération qui, à partir du signal modulé reçu du canal de transmission, permet de reconstituer le signal informatif (après traitement).
- **Amplificateur** (Emetteur-Récepteur) : il a pour fonction d'augmenter le niveau du signal, les amplificateurs les plus courants sont à transistors.
- **Filtres** : ils ont pour fonction de séparer les signaux utiles des autres, ils sont omniprésents, et à base de condensateurs et de bobines.
- **Antenne** : c'est une interface entre le milieu dans lequel les ondes se propagent et l'appareil où elles sont guidées.

2.11 Guidage et précipitation

Certaines caractéristiques du milieu propagateur sont donc « aléatoires ». Pour celles-ci, on a recours à des statistiques climatologiques (par ex. la concentration moyenne en vapeur d'eau). Il convient de considérer principalement deux phénomènes :

- Phénomène de guidage
- Phénomènes dues aux hydrométéores

2.11.1 Phénomène de guidage

Pendant un certain temps, les conditions atmosphériques peuvent entraîner un guidage du faisceau, généralement en super réfraction. Ce phénomène de guidage est dimensionnant dans l'ingénierie des liaisons dont la bande fréquence est inférieure à 15GHz. Il réduira la longueur possible du bond pour des exigences de disponibilité données.

2.11.2 Atténuation dues aux hydrométéores

Pour les FH de fréquence supérieure à 8 GHz, les précipitations entraînent des pertes également considérables, d'autant plus que le taux de précipitation (en mm/h) et la fréquence sont élevés. De plus, la phase de ces précipitations influence également l'atténuation du signal. Ainsi la neige, qui a une très petite constante diélectrique, a beaucoup moins d'influence que des gouttes de pluie de même masse. La neige fondante, d'autre part, allie le large diamètre des flocons et le coefficient de la pluie pour créer un obstacle plus important que les deux séparément que l'on nomme la bande

brillante. Ainsi le passage d'une onde de 10 cm dans cette bande rencontre de trois à 30 fois plus d'atténuation que dans la pluie sous la bande.[25]

2.12 Dispositif de contre mesure

Des dispositifs permettent d'améliorer la disponibilité et la qualité des liaisons, aussi bien vis-à-vis des aléas de propagation que de la fiabilité des équipements. Il est par exemple possible de doubler la liaison mais il existe des moyens moins lourds et moins coûteux.

2.12.1 Réflexion, trajets multiples

Le signal reçu est la somme du signal principal, et de tous les signaux réfléchis (sur le sol, la végétation, et surtout les étendues d'eau). Les interférences générées entre tous ces signaux entraînent des sur-champs et des sous-champs parfois extrêmement importants mais également des distorsions (évanouissements sélectifs).
La réflexion principale est le phénomène de multi-trajet dominant. Il existe cependant d'autres cas d'importance :

- Les réflexions multiples dans une couche de guidage, le conduit atmosphérique jouant un rôle semblable à un guide d'onde : l'onde « rebondit » sur les « bords » du conduit.
- La scintillation : lors du survol d'une forêt par exemple, une partie de l'onde se propage à travers les arbres, subissant de fortes transpolarisations, et déphasages. Le champ d'interférence résultant est très instable.

2.12.2 Protection veille active

Il est possible d'opter pour une configuration d'équipement dite de « veille active » (Hot-stand-by), afin de pallier les éventuelles défaillances de matériels. On peut également ajouter une "diversité" : il s'agit d'un deuxième canal distinct à la liaison.
À l'émission, en cas de défaillance de l'émetteur, on bascule automatiquement sur un deuxième émetteur, de secours. Celui-ci est donc inactif la majeure partie du temps.
En réception, les deux récepteurs reçoivent. L'équipement choisit automatiquement la voie par laquelle le signal est le meilleur. En cas de panne, l'un des deux chemins reste toujours disponible, et permet le dépannage sans interruption de la liaison.

2.13 Bilan de liaison

Le bilan de liaison est un outil courant en télécommunication permettant d'estimer les puissances reçues dans une liaison entre un émetteur et un récepteur et la qualité du signal. Il permet de dimensionner l'émetteur, le récepteur et de déterminer les limites en terme de performance (couverture radio, puissance minimale, amplification nécessaire …). Un bilan entre deux antennes permet notamment de :

- Déterminer la puissance reçue connaissant la puissance émise, les caractéristiques des antennes et la perte liée à la propagation de l'onde électromagnétique, et en déduire la qualité du signal reçu
- Déterminer la perte de propagation maximale connaissant la puissance émise, les caractéristiques des antennes, le seuil de réception et le modèle de propagation, et en déduire la couverture d'une antenne

Pour construire notre premier bilan de liaison, il nous faut disposer de modèles de propagation des ondes électromagnétiques.

Le bilan de liaison se présente sous les caractéristiques suivantes :

- Les caractéristiques de l'émetteur
- Les caractéristiques du récepteur
- Les pertes propagation

Il s'agit de faire la somme de tous les gains et toutes les pertes pour déterminer la puissance émise par l'antenne, la puissance reçue minimale (à partir de la sensibilité du récepteur), puis d'en déduire la perte de propagation maximale.

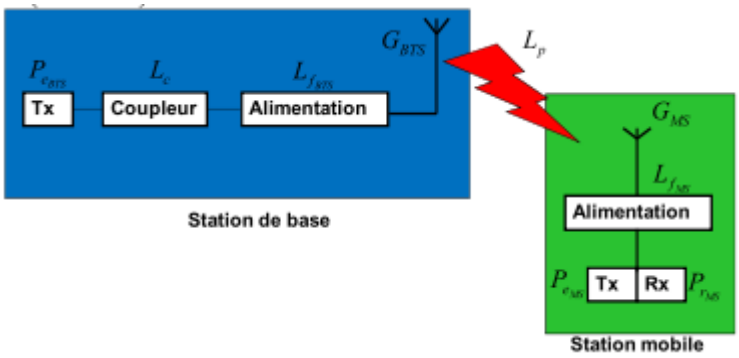


Figure 2.06 : *Transfert de puissance entre une station de base et une station mobile*

L'équation constitutive du bilan de liaison de la figure ci-dessus est la suivante :

$$P_{r_{MS}}=P_{e_{BTS}} -L_c -L_{f_{BTS}} +G_{BTS} -L_p +G_{MS} -L_{f_{MS}} \quad (2.11)$$

2.14 Conclusion

Pour établir des liaisons hertziennes, il est recommandé d'utiliser des antennes directives qui concentrent l'énergie émise dans une seule direction pour pouvoir obtenir un gain maximal à la réception. Pour ce faire il est aussi préférable d'installer les antennes émission et de réception en ligne de vue directe. La transmission par FH dans le domaine numérique est un support très efficace et plus souple

CHAPITRE 3
ANTENNE INTELLIGENTE

3.1 Introduction

Les systèmes de communications sans-fil traditionnels, sont couramment équipés avec des antennes classiques : soit omnidirectionnelles, soit tri-sectorisées. La répartition spatiale de l'énergie rayonnée par ces antennes est déterminée de telle sorte que la couverture soit optimale. Cependant, ces diagrammes sont configurés à la fabrication et ne peuvent pas s'adapter aux conditions de propagation, donc la puissance est dissipée dans toutes les directions. Mais comme les utilisateurs ne reçoivent des signaux qu'en provenance de certaines directions, on a donc une perte d'énergie, une pollution de l'environnement électromagnétique. Par conséquent, on a les interférences entre systèmes qui deviennent problématiques : limitation du nombre d'utilisateurs, dégradation de la qualité des communications et restriction de la portée de la station de base. Pour surmonter ces problèmes, on a imaginé un système qui a un diagramme de rayonnement avec des directions d'écoute privilégiées. C'est ce que font exactement les systèmes d'antennes adaptatives ou intelligentes (Smart Antennas Systems en anglais) : émettre et recevoir dans certaines directions et rester "sourds" dans d'autres.

3.2 Les antennes

Une antenne est un dispositif qui assure la transmission de l'énergie entre une onde se propageant dans l'espace libre et une ligne de transport de puissance.

3.2.1 Antenne d'émission

Pour assurer la propagation dans l'air, il est nécessaire qu'un dispositif génère une onde rayonnée. Le rôle de l'antenne d'émission est de transformer la puissance électromagnétique guidée, issue d'un générateur en une puissance rayonnée. Dans ce sens, c'est un transducteur.

3.2.2 Antenne de réception

De façon inverse, la puissance rayonnée peut être captée par une antenne de réception. Dans ce sens, l'antenne apparaît comme un capteur et un transformateur de puissance rayonnée en puissance électromagnétique guidée. Elle joue le même rôle qu'un télescope qui capte la lumière issue des étoiles et la transforme.

3.3 Les caractéristiques des antennes

Quel que soit la fréquence de fonctionnement de l'antenne, quel que soit sa structure physique, le rayonnement des antennes est caractérisé par des propriétés communes.

3.3.1 Diagramme de rayonnement d'une antenne

Une antenne sert à convertir une puissance électrique en une puissance rayonnée, c'est-à-dire transportée par une onde électromagnétique, qui peut se propager dans toutes les directions de l'espace. Les directions dans lesquelles cette puissance vont dépendre des caractéristiques de l'antenne.[26]

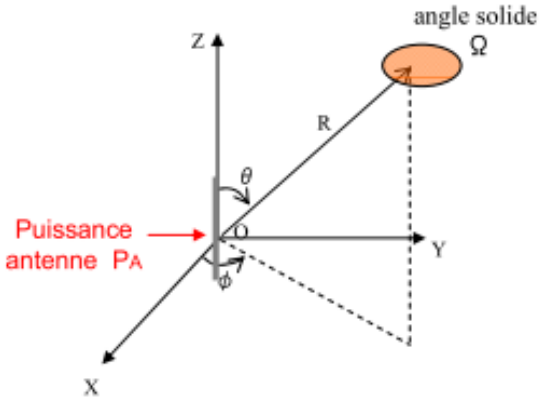


Figure 3.01 : *Puissance rayonnée par une antenne dans une direction de l'espace*

Commençons par exprimer la puissance rayonnée par une antenne quelconque, dont le centre est placé au centre d'un repère sphérique (Figure 3.01) et connectée à une source qui lui fournit une puissance électrique P_A . La puissance rayonnée dans une direction quelconque (θ,φ) dans un angle solide Ω (exprimé en stéradian sr) est donné par l'équation suivante :

$$P\ (\theta, \varphi) = \frac{P_A}{\Omega}\ (\text{w ou w/sr}) \qquad (3.01)$$

La puissance fournie à une surface élémentaire située à une distance R est donnée par l'équation suivante :

$$P\ (\theta, \varphi) = \frac{P_A}{\Omega . R^2}\ (\text{w}/m^2) \qquad (3.02)$$

La puissance rayonnée totale correspond à la somme des puissances rayonnées dans toutes les directions de l'espace :

$$P_{tot} = \int_{\theta}\int_{\varphi} P(\theta,\varphi) d\varphi\, d\theta \quad \left(W / m^2\right) \tag{3.03}$$

La fonction caractéristique du rayonnement r est :

$$r\,(\theta,\,\varphi) = \frac{P(\theta,\varphi)}{P_0\,(\theta_0\,,\varphi_0\,)} \tag{3.04}$$

$P(\theta,\varphi)$:Puissance rayonnée dans une direction quelconque

$P_0\left(\theta_0\,,\varphi_0\,\right)$:Puissance rayonné maximale

On appelle lobe principal ou majeur le lobe contenant la direction de rayonnement maximal. Les autres lobes sont des lobes secondaires ou encore mineurs. Un lobe latéral est un lobe dans une direction autre que celle souhaitée pour le rayonnement de l'antenne.

La largeur du lobe principal ou largeur du faisceau est l'angle formé par les deux directions du champ nul entourant le lobe principal

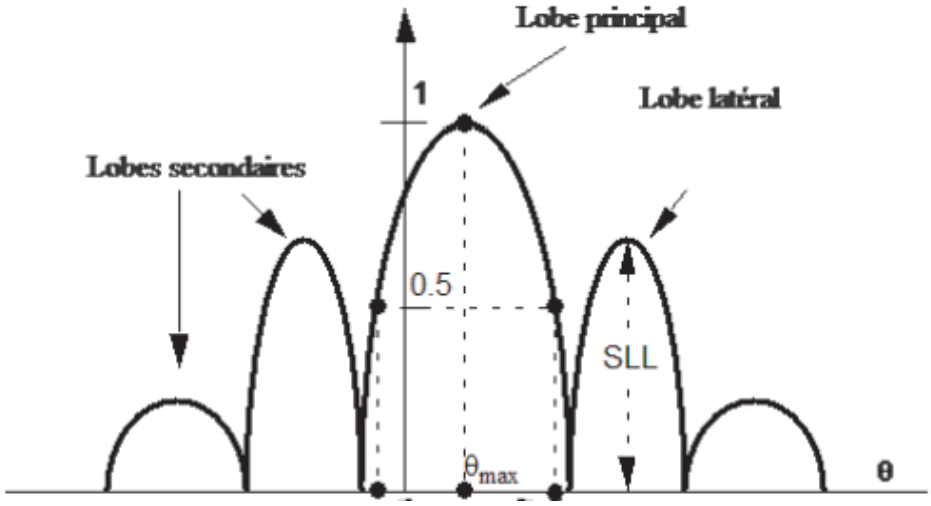


Figure 3.02 : *Représentation du diagramme de rayonnement d'une antenne*

Le diagramme de rayonnement d'une antenne est principalement relié à sa géométrie mais peut aussi varier avec la fréquence. Hormis les antennes omnidirectionnelles, les antennes ne rayonnent pas la puissance de manière uniforme dans l'espace. Dans ce cas, la fonction caractéristique de rayonnement est égale à 1 quel que soit la direction considérée. En général, la puissance est concentrée dans un ou plusieurs lobes. Le lobe principal correspond à la direction privilégiée de rayonnement. Les lobes secondaires sont généralement des lobes parasites. Dans ces directions, l'énergie rayonnée est perdue donc on cherche à les atténuer. Pour que les lobes secondaires ne soient pas considérés comme gênants, on admet en pratique que le niveau du premier lobe secondaire doit être au moins 20 dB inférieur au niveau du lobe principal.[27]

L'importance des lobes latéraux peut se chiffrer en considérant la direction appartenant à ceux-ci où l'intensité est maximale. On définit alors le niveau des lobes latéraux (side lobe level, SLL) comme :

$$SLL = 10\ log_{10} \frac{P_{\max(lobe\ principale)}}{P_{\max(lobe\ lateraux)}} \tag{3.05}$$

3.3.2 Angle d'ouverture

L'angle d'ouverture d'une antenne est l'angle de direction pour lequel la puissance rayonnée est la moitié de la puissance rayonnée dans la direction la plus favorable. L'angle d'ouverture caractérise la largeur du lobe principal. L'angle d'ouverture à 3 dB 2θ 3 3db représente la portion de l'espace dans lequel la majeure partie de la puissance est rayonnée. Il s'agit de l'angle entre les 2 directions autour du lobe principal où la puissance rayonnée est égale à la moitié de la puissance rayonnée dans la direction de rayonnement maximal.

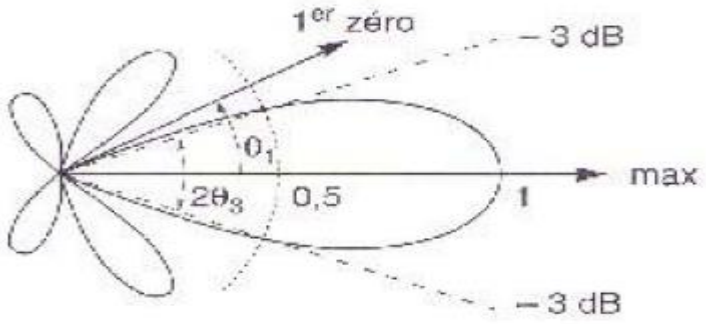


Figure 3.03 : *Diagramme de rayonnement et angle d'ouverture*

D'autres grandeurs sont utilisées pour caractériser l'ouverture d'une antenne et sa capacité à focaliser la puissance rayonnée dans une direction donnée. On trouve l'angle entre la direction de rayonnement maximale et le premier zéro.

3.3.3 Directivité

La directivité D (θ,φ) d'une antenne dans une direction (θ,φ) est le rapport entre la puissance rayonnée dans une direction donnée P (θ,φ) et la puissance que rayonnerait une antenne isotrope :

$$D = \frac{P(\theta,\varphi)}{\frac{P_R}{4\pi}} = 4\pi \frac{P(\theta,\varphi)}{P_R} \tag{3.06}$$

La directivité indique dans quelles directions la densité de puissance est meilleure ou moins bonne que celle de l'antenne isotrope.

3.3.4 Gain

Le gain G(θ, φ) d'une antenne dans une direction (θ, φ) est le rapport entre la puissance rayonnée dans une direction donnée P(θ,φ) sur la puissance que rayonnerait une antenne isotrope sans pertes. En général, le gain G correspond au gain dans la direction de rayonnement maximal (θ_0, φ_0). Cette propriété caractérise la capacité d'une antenne à focaliser la puissance rayonnée dans une direction.

$$G(\theta,\varphi) = 4\pi \frac{P(\theta,\varphi)}{P_R} \tag{3.07}$$

Si l'antenne est omnidirectionnelle et sans pertes, son gain vaut 1 ou 0 dB. Le gain est généralement exprimé en dB ou en dBi car une antenne isotrope est utilisée comme référence. On trouve aussi parfois le gain exprimé en dBd, lorsqu'une antenne dipôle est utilisée comme référence.

3.3.5 Rendement

Le rendement η d'une antenne traduit sa capacité à transmettre la puissance électrique en entrée P_A sous forme de puissance rayonnée P_R. On le définit comme le rapport entre la puissance

totale rayonnée par une antenne et la puissance qui lui est fournie. Le rendement est lié aux pertes dans le réseau de polarisation et dans les éléments rayonnants.

$$P_R = \eta . P_A$$

En effet G= η.D (3.08)

3.3.6 Lien entre gain et angle d'ouverture

Intuitivement, on voit que le gain est dépendant de l'ouverture d'une antenne. Plus le gain d'une antenne n'est grand, plus l'angle d'ouverture du lobe principal est faible, ce que montre le résultat suivant :

On a G= η.D

Alors $$G = \eta . 4\pi \frac{P(\theta,\varphi)}{P_R} \quad (3.09)$$

Avec $$P_R = \int_0^{4\pi} P(\theta,\varphi) d\Omega = \int_0^{4\pi} r(\theta,\varphi) P(\theta_0, \varphi_0) d\Omega$$

En effet $$G = \eta . \frac{4\pi}{\int_0^{4\pi} r(\theta,\varphi) d\Omega} \quad (3.10)$$

La relation précédente permet d'estimer grossièrement le gain d'une antenne à partir des deux angles d'ouvertures.

3.3.7 Puissance isotrope rayonnée équivalente (PIRE)

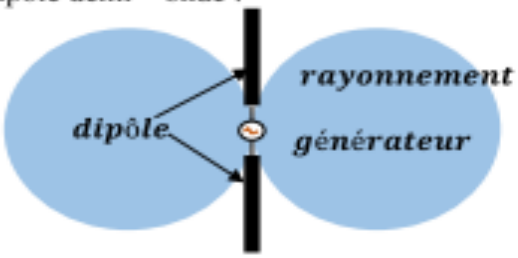
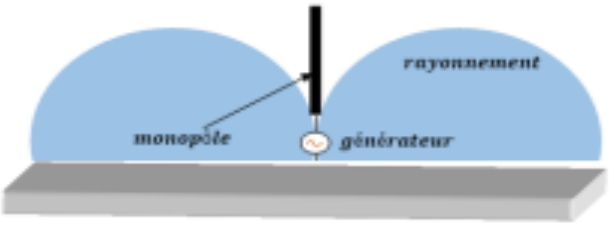
La puissance isotrope rayonnée équivalente d'une antenne est un terme souvent utilisé en télécommunications (principalement dans les bilans de liaison) qui définit, dans la direction de rayonnement maximal, la puissance électrique qu'il faudrait apporter à une antenne isotrope pour obtenir la même puissance rayonnée dans cette direction. Dans la direction optimale du lobe principal, le gain directif G (θ, φ) est égal à GG_0 . On définit la puissance isotrope rayonnée de la manière suivante :

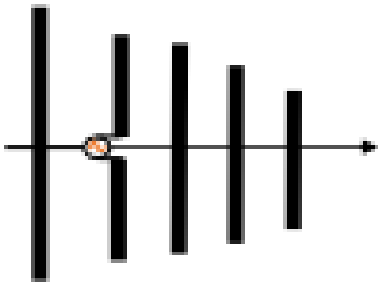
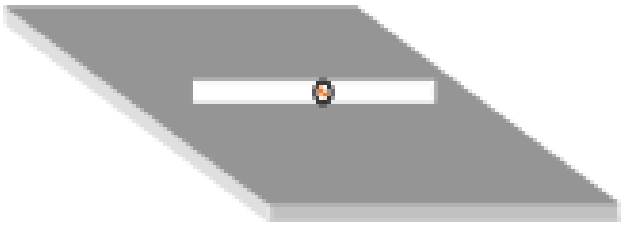
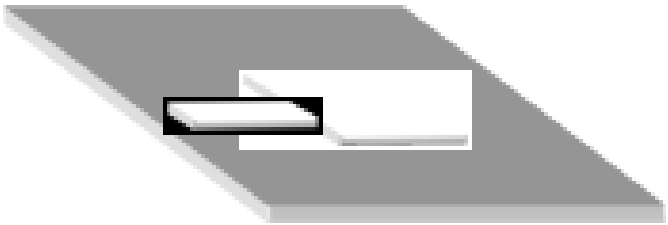
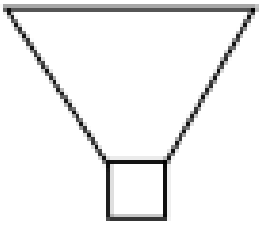
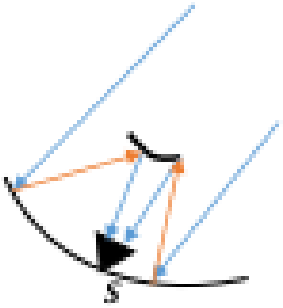
PIRE= G [dbW ou dbm] x P_A[w] [W] (3.11)

Quand on utilise une antenne directive (par exemple une antenne parabolique), il est clair qu'on va chercher à l'orienter de manière optimale pour avoir G $(\theta,\varphi) = G_0$ dans la direction choisie. Dans ce cas, la PIRE suffit pour connaître la densité de puissance à une distance d quelconque.

3.4 Les types d'antennes

La forme et les dimensions d'une antenne sont extrêmement variables : celle d'un téléphone portable se limite à une petite excroissance sur le boîtier de l'appareil tandis que la parabole du radiotélescope d'Arecibo dépasse 100 m de diamètre. Très grossièrement on peut dire que pour la même fréquence d'utilisation, les dimensions d'une antenne seront d'autant plus grandes que son gain sera élevé, à cause de l'utilisation d'éléments réflecteurs, comme pour l'antenne parabolique, par exemple.
Il existe plusieurs types d'antenne mais nous allons citer quelques-unes sur les tableaux suivantes :

Types	Modèles
Antennes filaires	- Dipôle rayonnant : - Dipôle demi – onde :  - Monopôle :  - Dipôle replié :

	- Antenne Yagi : 
Antennes à fentes	
Antennes patchs	
Antennes en hyperfréquence	- Antenne à cornet :  - Antenne à réflecteur paraboloïde : 

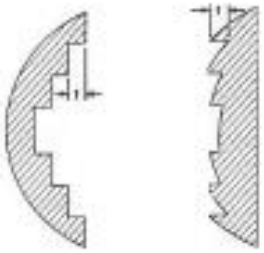
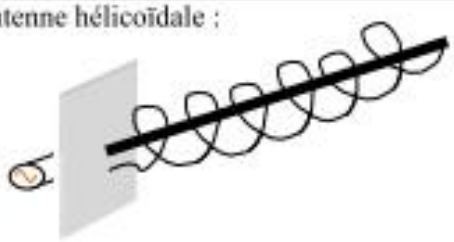
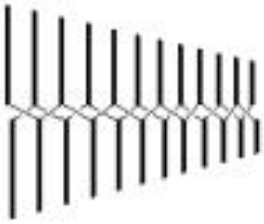
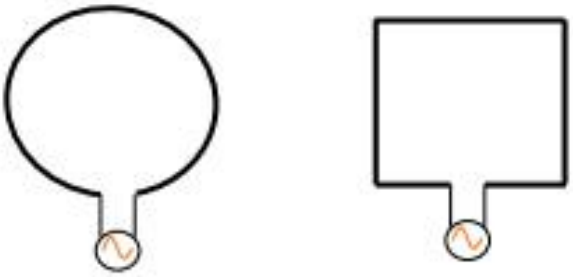
	- Antenne à lentilles : 
Antennes spéciales	- Antenne hélicoïdale :  - Antenne log – périodique :  - Antenne discône : - Antenne à boucle : 

Tableau 3.01 : Les types et les modèles d'antennes

3.5 Les antennes intelligentes

3.5.1 Définition et intérêt des antennes intelligentes

Les antennes intelligentes entrent dans un domaine technologique multidisciplinaire dont la croissance a été très importante dans le courant de ces dernières décennies. Ils bénéficient des interactions croissantes entre l'électromagnétisme et le traitement de signal. L'intérêt de ces systèmes est leur capacité à réagir automatiquement, en temps réel, à des modifications du canal de propagation. Ils permettent de réduire les niveaux des lobes secondaires existants dans la direction de l'interférence, tout en maintenant le lobe principal en direction utile. Habituellement, ces systèmes reposent sur des antennes réseau et sur un processeur récepteur adaptatif temps réel qui attribue des poids aux éléments de l'antenne réseau afin d'optimiser le signal de sortie selon des algorithmes de contrôle prédéfinis.[28]

Il existe deux types de systèmes d'antennes intelligentes :

- Les systèmes à faisceau commuté
- Les systèmes des antennes réseau adaptatif

3.5.2 Les systèmes à faisceau commuté

Ce système est formé de multiples faisceaux fixes avec une grande sensibilité dans des directions particulières. Le système détecte le signal le plus puissant et la commutation d'un faisceau à un autre se fait lorsque le mobile se déplace tout au long du secteur. Cette méthode de faisceau commuté peut être considérée comme un extension du système cellulaire à sectorisation offrant ainsi plus de sélectivité spatiale. Un système à faisceaux commutés est formé essentiellement d'un réseau d'antennes lié à un réseau conformateur de faisceau (appelé aussi réseau d'alimentation de faisceaux), ce dernier est lié à un système de commutation permettant de choisir le faisceau le plus adéquat afin de localiser le signal d'intérêt propre à chaque usager. Les systèmes d'antennes à commutation faisceaux divisent l'espace angulaire en secteurs chacun contenant un diagramme de rayonnement prédéterminé. Lorsque l'utilisateur entre dans la zone de couverture du système et qu'il est détecté, l'antenne détermine dans quel secteur se situe l'utilisateur et commute sur le faisceau correspondant.

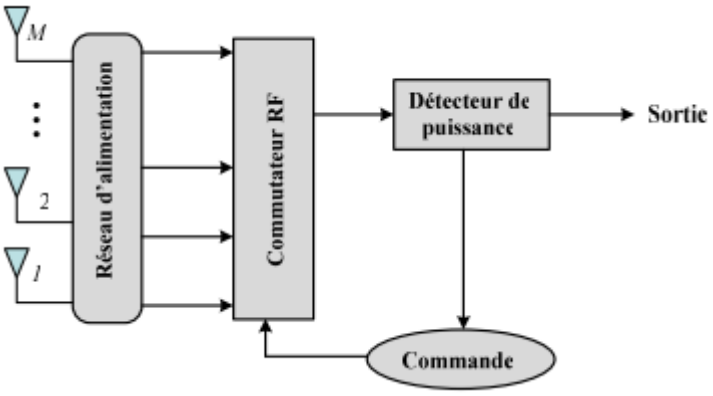


Figure 3.04 : *Structure d'un système à faisceaux commutés*

Si le mobile se trouve au bord de l'azimut du faisceau, le signal fort subi une dégradation rapide avant que l'usager se commute d'un micro-secteur à l'autre. De plus, le système à faisceaux commutés ne distingue pas entre un signal désiré et les signaux de brouillage. Si le signal de brouillage se trouve à 1 'intérieur du faisceau sélectionné, la qualité du signal sera dégradée.

3.5.3 Les systèmes des antennes réseaux adaptatifs

Ce type de système est constitué d'un réseau d'antenne et un processeur récepteur adaptatif en temps réel qui attribue des poids aux éléments de 1 'antenne réseau afin d' optimiser le signal de sortie selon des algorithmes de contrôle prédéfinis. Un système d'antenne réseau adaptative peut donc être définie comme un réseau capable de modifier son diagramme de rayonnement, sa réponse fréquentielle et d'autres paramètres grâce à une boucle à retour de décision interne pendant le fonctionnement de 1' antenne.[29]

Les systèmes d'antennes adaptatives représentent les systèmes les plus avancés des systèmes d'antennes intelligentes. De même que pour le système à commutation faisceaux, l'antenne adaptative adapte son diagramme de rayonnement en fonction de la position des utilisateurs et des signaux parasites mais le système n'utilise pas de diagramme de rayonnement préétablit.

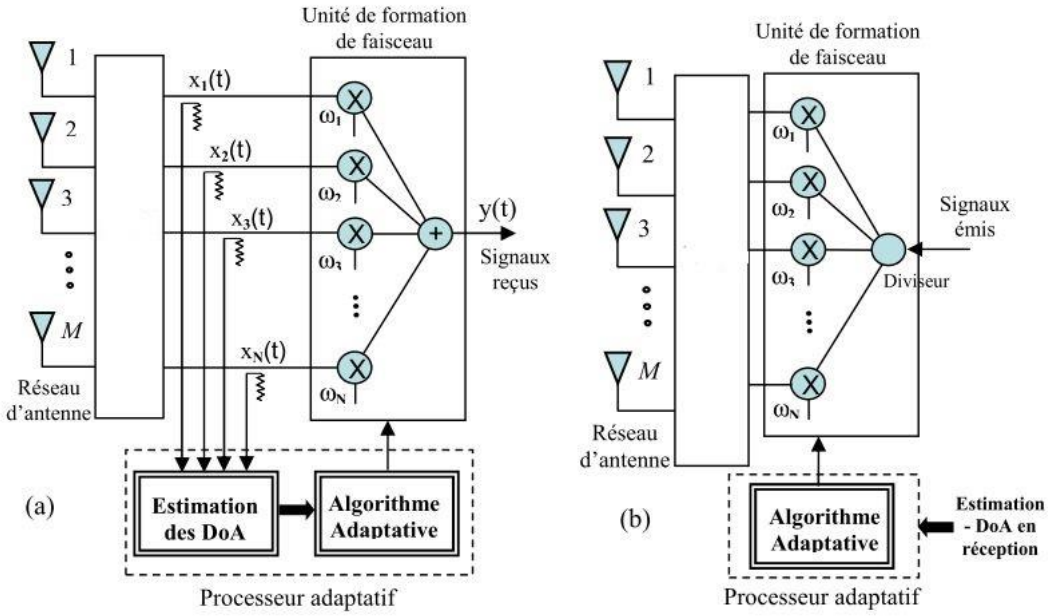


Figure 3.05 : *Structure et principe du système adaptatif en (a) Réception et en (b) Emission*

C'est ce type de structure qui est le plus utilisé dans le domaine d'antenne intelligente pour la réalisation du démonstrateur. Son principe peut se résumer de la façon suivante : tout d'abord, la station de base intelligente capte et détermine les directions d'arrivées (DoA) des sources émises dans son environnement électromagnétique en utilisant les algorithmes de détection de DoA. Ensuite, le système identifie et sépare le signal utile provenant de l'utilisateur des autres signaux parasites. Enfin, il calcule les pondérations et forme le faisceau d'énergie orienté vers le signal utile pour suivre un mobile tout au long de la communication et crée des zéros dans les directions interférentes pour limiter l'interférence créé par les autres signaux émis et pour réduire les niveaux des signaux brouilleurs émis par d'autres mobiles.

3.5.4 Comparaison de deux systèmes technologiques précédents

En comparant une antenne adaptative à celui d'un système à commutation de faisceau, il convient de noter que la complexité des algorithmes et du matériel nécessaire est beaucoup plus grande pour les systèmes adaptatifs. De plus, ils nécessitent non seulement des algorithmes complexes, mais également efficaces . Les systèmes d'antennes adaptatives permettent d'obtenir de plus grandes performances en termes de SINR (rapport signal à interférent plus bruit) que les systèmes à commutation de faisceaux. Ils permettent également de suivre continuellement l'utilisateur tout au long de sa communication en adaptant le diagramme de l'antenne avec

un maximum de puissance dans la direction utile tout en modulant l'intensité de la puissance en direction de l'interférent.

Les avantages du système d'antenne de réseau adaptatif systèmes sont:

- Possibilité de traquer plusieurs usagers au même temps.
- Le diagramme de rayonnement est optimisé dynamiquement et en temps réel.
- Le diagramme de rayonnement d'un système adaptatif est plus précis que celui du système à faisceaux commutés.

Le terme d'antenne intelligente ou smart antenna ne concerne plus seulement les antennes à commutation de faisceaux et les antennes adaptatives, cette définition s'est généralisée et englobe les techniques multi-antennes appelées aussi diversité d'antenne ou réseau d'antenne.

3.6 Réseau d'antenne

3.6.1 Définition et principe

Un réseau d'antennes est un système constitué d'antennes élémentaires, réparties dans l'espace, dont les sorties sont pondérées en amplitude et /ou en phase avant d'être sommées entre elles.Le diagramme de rayonnement du réseau dépend de l'amplitude et de la phase des signaux émis sur chaque source. Grâce à cette commande des sources en amplitude et/ou phase, les antennes réseaux peuvent produire des diagrammes de rayonnement ayant une forme voulue dans les directions désirées, par exemple par la création d'un lobe dans la direction du signal utile et un zéro dans la direction du signal interférent ou création de plusieurs lobes simultanément en direction de plusieurs utilisateurs. Une antenne adaptative peut donc être définie comme étant un réseau capable de modifier en temps réel, son diagramme de rayonnement grâce à un outil numérique de synthèse.

Les réseaux d'antennes peuvent avoir différentes géométries :

- réseaux linéaires,
- réseaux planaires,
- réseaux circulaires

3.6.2 Les différentes configurations géométriques

Les antennes réseaux peuvent avoir différentes géométries. Le champ total rayonné par le réseau est déterminé par l'addition des vecteurs champs rayonnés par les différents éléments. Si on veut

rendre un modèle très directif, il est essentiel que les champs interfèrent de manière constructive dans les directions exigées et interfèrent nuisiblement dans l'espace restant.[30][31]

3.6.2.1 Réseau linéaire

Pour le réseau linéaire, on cherche à conformer le diagramme de rayonnement seulement dans le plan contenant les sources.

Figure 3.06 : *Réseau linéaire*

Supposons un réseau de N éléments ; les éléments d'excitation sont :

$I_0, I_1, \dots, I_N$ avec $I_i = |I_0|.e^{\alpha_i}$

Si les positions des éléments sont respectivement : 0, d, 2.d,…, (N-1).d, alors le facteur réseau AF est le suivant :

$$\text{AF}=I_0 + I_1.\,e^{jkdcos\theta}+\dots+I_{N-1}.\,e^{jk.(N-1).d.cos\theta} \tag{3.12}$$

k : vecteur d'onde, k=$\frac{2.\pi}{\lambda}$

3.6.2.2 Réseau planaire

Dans ce type de réseau le travail est étudié dans deux sur les trois axes (Ox), (Oy) et (Oz).

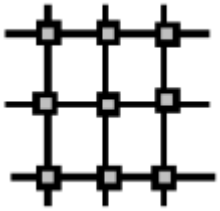


Figure 3.07 : *Réseau planaire*

Nous supposons que tous les éléments sont équidistants avec intervalle d_x et un déphasage progressif β_x. En prenant comme plan (Ox) et (Oy) le facteur réseau de la partie (Ox) est le suivant :

$$AF_{xM} = \sum_{m=1}^{M} I_{m1}\, e^{j(m-1).(k.d_x.sin\theta.cos\phi+\beta_x)} \quad (3.13)$$

I_{m1} dénote l'amplitude d'excitation d'un élément à un point avec les coordonnées suivantes : x= (m-1).d_x , y=0

Si un réseau de N éléments est placé le long de la direction (Oy). Un réseau rectangulaire est formé.

Nous supposons aussi que les éléments sont équidistants avec une distance d_y et un déphasage progressif β_y le long de chaque ligne. Le facteur de réseau d'antennes planaires M x N peut s'écrire comme suit :

$$AF=[\sum_{m=1}^{M} I_{m1}\, e^{j(m-1).(k.d_x.sin\theta.cos\phi+\beta_x)}].[\sum_{n=1}^{N} I_{n1}\, e^{j(n-1).(k.d_y.sin\theta.cos\phi+\beta_y)}] \quad (3.14)$$

Dans le cas d'un réseau planaire uniforme (rectangulaire),I_{m1}=$I_{n1} = I_0$, tous les éléments auront la même amplitude d'excitation.

3.6.2.3 Réseau circulaire

Ce type de réseau est aussi étudié sur le même plan que les réseaux précédents mais cette fois ci on ajoute le paramètre rayon.

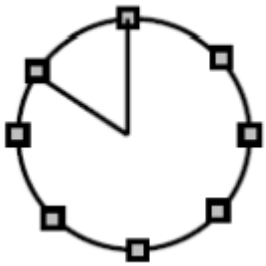


Figure 3.08 : *Réseau circulaire*

Pour un réseau d'antennes circulaire, le facteur de réseau peut s'écrire comme suit :

$$AF_{(\theta,\phi)} = \sum_{n=1}^{N} I_{m1}\, e^{j(k.a.sin\theta.\cos(\phi-\phi_n)+\alpha_n)} \quad (3.15)$$

I_n est l'amplitude et α_n est la phase d'excitation du nième élément.

3.7 Conclusion

Après une introduction du concept des antennes intelligentes : structure, types et avantages et une mise au point sur les différentes méthodes actuelles de traitement d'antennes intelligentes, nous avons présenté les différentes structures géométriques des réseaux d'antenne. Elles sont indépendantes des informations portées par le signal donc indépendante du type d'application, aussi elles sont simples à installer et permettent de réaliser le formage du lobe directif avec un temps de calcul et un coût relativement faible.

CHAPITRE 4
LES INTERFERENCES DE LA TNT FACE A LA 4G ET LES SOLUTIONS

4.1 Introduction

On parle, depuis l'arrivée de la 4G mobile 800 mégahertz, des perturbations possibles que cette fréquence peut avoir sur la réception des chaines de télévision TNT. En effet, ces fréquences haut débit peuvent perturber le signal car elles créent des interférences : la fréquence de la 4G (800 Mhz) et la fréquence de la TNT (790 Mhz) sont très proches et ont tendance à s'entrechoquer, ce qui a pour conséquence de brouiller la réception des foyers qui captent la télévision hertzienne numérique via une antenne râteau (antenne située sur le toit).

4.2 La libération partielle de la Bande V

Le passage de la TV analogique à la TNT a permis, entre autre, de libérer les fréquences UHF comprises entre 791 MHz (canal 61) et 862 MHz (canal 69) qui sont réaffectées au profit du développement de la nouvelle génération de téléphonie mobile appelée 4G (dans cette bande aussi appelée LTE 800) et qui permettra de proposer aux utilisateurs des services, notablement plus performants, aussi bien en termes de haut débit que de couverture.

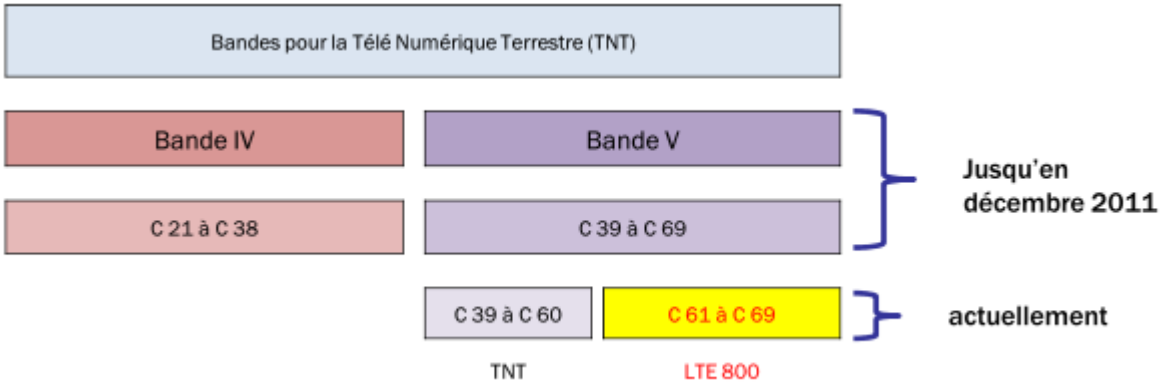


Figure 4.01 : *Bande pour la télévision numérique et le LTE 800*

Les avantages significatifs de la technologie LTE 800 :

Offrir une portée bien supérieure à celle obtenue à 2,6 GHz (autres fréquences LTE) pour :

- Une plus grande couverture en zones suburbaines et rurales

- Meilleure pénétration dans les bâtiments en zones denses urbaine.

4.3 La cohabitation de la 4G et TNT

4.3.1 Les fréquences adjacentes

Les fréquences utilisées respectivement par la TNT et le réseau LTE 800 cohabitent maintenant dans la bande UHF et sont adjacentes ; la majorité des installations de réception TV étant prévue à l'origine pour recevoir l'ensemble des fréquences de la bande UHF, celles-ci se trouvent ainsi exposées à des risques d'interférences.[32][33]

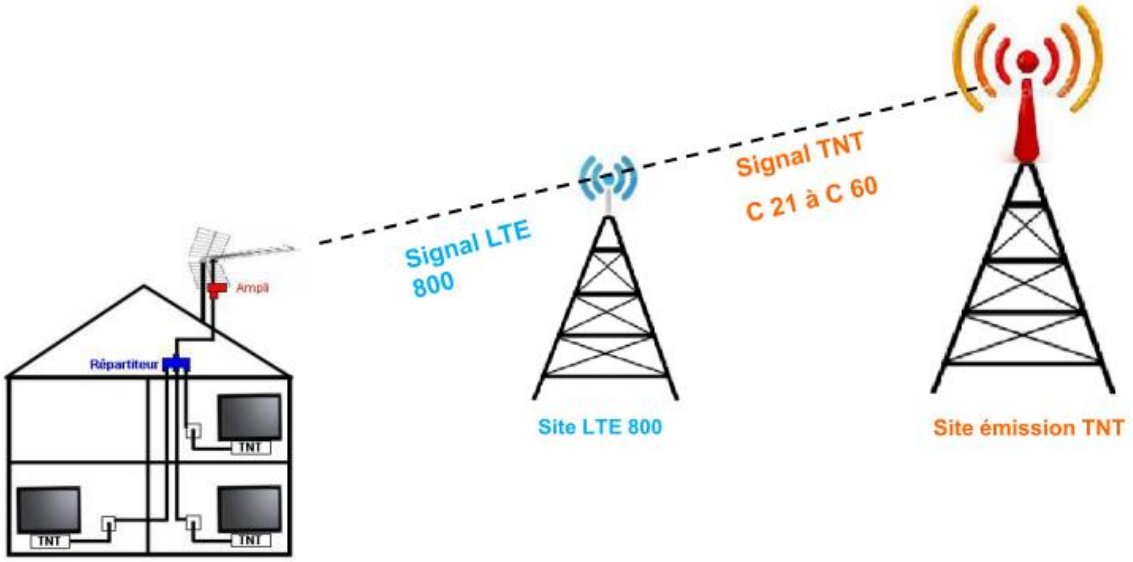


Figure 4.02 : *Site 4G et TNT*

Afin de pallier à ce risque, qui peut dans certain cas se traduire par une perturbation du signal TNT reçu par les téléspectateurs, plusieurs proposition sont proposées dans cette chapitre telle que :

- L'utilisation de la fibre optique jusqu'à l'abonnée
- Mettre hors du premier lobe le site 4G
- Etablir une bande de garde
- Installer un filtre passe bas au pied de l'antenne de réception de la TNT
- L'utilisation de l'antenne intelligente

Avec toutes ces propositions, seule fera le corps de notre travail : l'usage de l'antenne intelligente.

Cela s'explique par le fait que l'utilisation de la fibre optique dépend de l'abonnée et ses capacités financières. Aussi, pour mettre hors du premier lobe le site 4G il faut un compromis entre operateur. En suite l'installation du filtre est difficilement réalisable vu la présence de nombreux abonnés Enfin, les concernées de l'établissement d'une bande de garde est l'organisme qui s'occupe de la régularisation de fréquence dans un pays ou autre. A titre d'exemple l'ARTEC à Madagascar.

4.3.2 Les cas où les interférences risquent d'intervenir

La voie montante se réfère aux données en provenance du terminal utilisateur (téléphone, tablette…) alors que la voie descendante se réfère aux données provenant de l'opérateur mobile via des antennes 4G. Ainsi des perturbations peuvent apparaitre et notamment dans les situations suivantes:

- l'antenne râteau est orientée à la fois vers un émetteur TNT et vers une antenne 4G ;
- le niveau de signal LTE reçue est nettement supérieur à celui reçue par la TNT (par exemple si une antenne 4G est proche alors que la réception TNT est difficile) ;
- un des éléments de l'installation (filtre) n'est pas adapté et ne permet pas d'atténuer suffisamment le signal LTE.
- Lorsqu'on utilise aussi des antennes sectorielles sur le site 4G avec une fréquence hasardeuse.

4.4 Simulation du diagramme de rayonnement des antennes réseaux

4.4.1 Présentation du logiciel de simulation

4.4.1.1 Paramètres concernés

Reseau	Lineaire	Planaire	Circulaire
Parametres	d M α	d_x, d_y M_x, M_y β_x, β_y	a N θ_0, φ_0

Tableau 4.01 : Paramètres de type des antennes réseaux

4.4.1.2 Algorithme adopté

Pour bien organiser cette étude, nous avons besoin d'établir un algorithme précisant les différentes étapes à suivre jusqu'à atteindre nos objectifs. Pour ce faire, nous avons adopté l'algorithme représenté sur la figure 4.04.L'étude du diagramme de rayonnement est à faire dans le plan horizontal (H) et dans le plan vertical (E). Pour cela, nous avons fait appel au logiciel de programmation scientifique MATLAB que nous allons présenter par la suite.

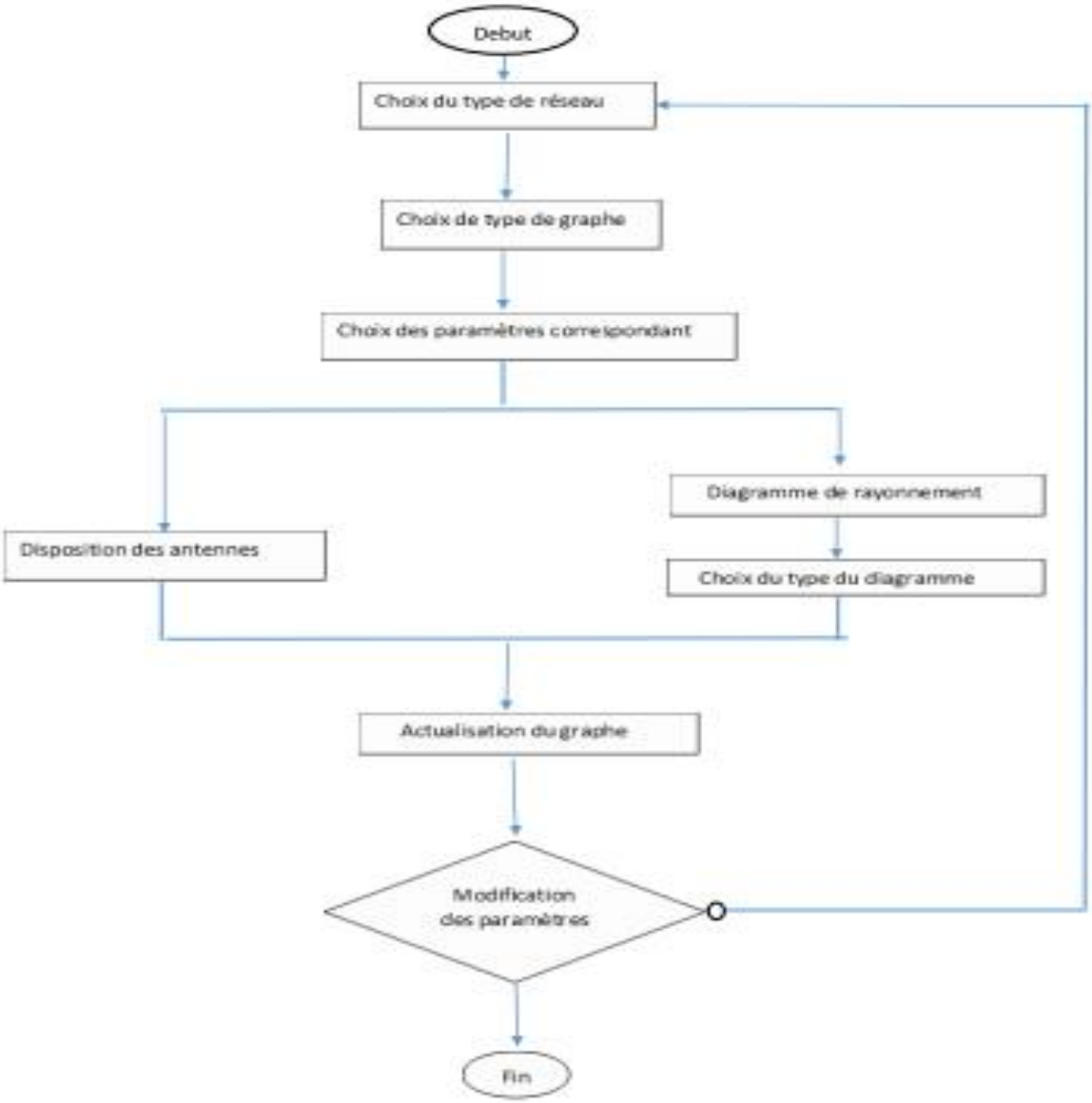


Figure 4.03 : *Algorithme de l'outil de simulation*

4.4.1.3 Présentation de MATLAB

MATLAB est l'abréviation de MATrix LABoratory. C'est à la fois un langage et une plate-forme de programmation. Il fut conçu initialement, au début des années 1980, pour manipuler aisément des matrices à l'aide de fonctions préprogrammées en s'affranchissant des contraintes des langages de programmation classique : plus de déclaration de variables, plus de phase d'édition-compilation-exécution. Cette orientation calcul matriciel a depuis évolué vers un outil pouvant être vu comme une super-calculatrice graphique et regroupant dans la version de base la quasi-majorité des problèmes numériques.

MATLAB est un logiciel interactif disposant d'un vaste ensemble de procédures ou sous-programmes directement utilisables par une simple instruction. Il présente un environnement puissant, complet et facile à utiliser destiné au calcul scientifique. Il apporte à tout scientifique, aux ingénieurs et aux chercheurs un système interactif intégrant calcul numérique et visualisation graphique. C'est un environnement performant, ouvert et programmable qui permet de remarquables gains de productivité et de créativité. Il dispose de plusieurs centaines voire des milliers, selon les versions et les modules autour de son noyau, de fonctions mathématiques, scientifiques et techniques. Plusieurs extensions conçues sous la forme de « toolbox » ou bibliothèques, qui sont des paquets de fonctions supplémentaires dédiées à un domaine particulier. L'approche matricielle de Matlab permet de traiter des données sans aucune limitation de taille et de réaliser des calculs numériques de façon fiable et rapide. Grâce à ses fonctions graphiques, il devient très facile de modifier interactivement les différents paramètres des graphiques pour les adapter selon nos besoins.

Nous avons choisi MATLAB puisqu'il permet de programmer aisément aussi bien sur le plan numérique que graphique. Par ailleurs, Il comprend déjà une grande variété d'algorithmes scientifiques ainsi que de fonctions prédéfinies indispensables pour atteindre notre objectif. Les fonctions ou programmes écrits en Matlab portent l'extension *.m.

4.4.1.4 Programmes et fenêtre d'accueil

Nous n'allons pas détailler ici comment programmer en MATLAB mais nous allons nous contenter aux éléments principaux pour aboutir à la simulation.

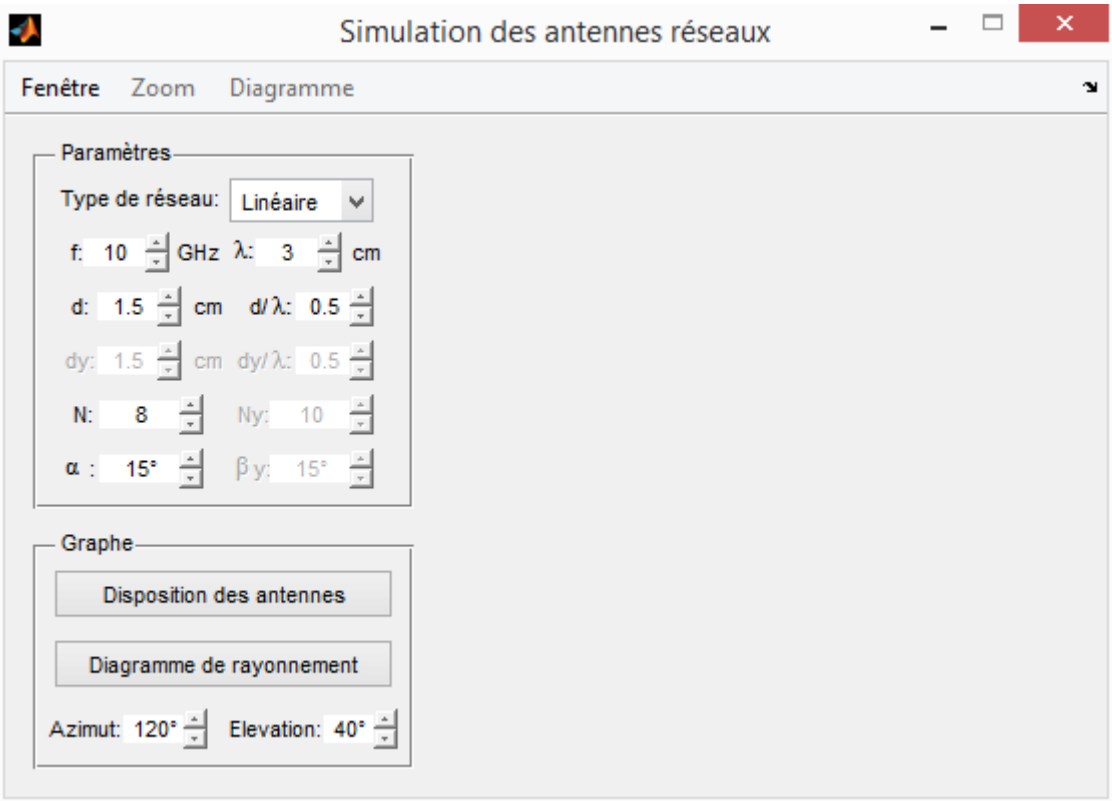


Figure 4.04 : *Fenêtre d'accueil*

Bien que ce logiciel de simulation permette d'étudier un très grand nombre de cas, nous allons nous limiter à considérer quelques cas permettant de comprendre les principales caractéristiques du diagramme de rayonnement des antennes réseaux.

4.4.2 Le résultat avec le réseau linéaire

En se référant à l'équation linéaire montrée au chapitre 3, ce type de réseau dépend du paramètre suivant : d/λ, N et α.

4.4.2.1 Influence de d/λ

Les paramètres peuvent jouer beaucoup de rôle sur l'emplacement géométrique des antennes. Comme nous voyons sur la figure ci-contre on a choisi : f=10,λ = 3,d=1.5, d/λ=0.5 et le nombre d'antenne N=8.

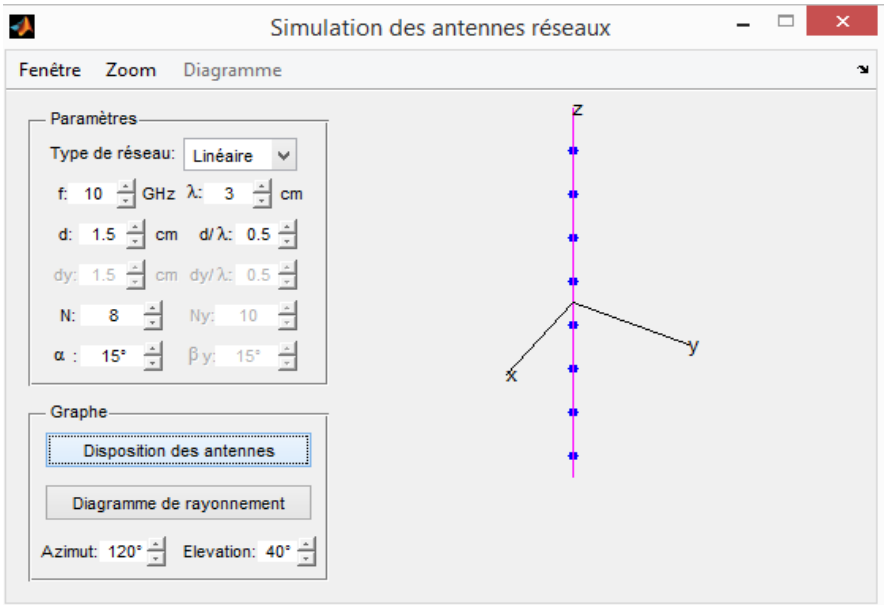


Figure 4.05 : *Disposition des antennes* avec d/λ=0.5

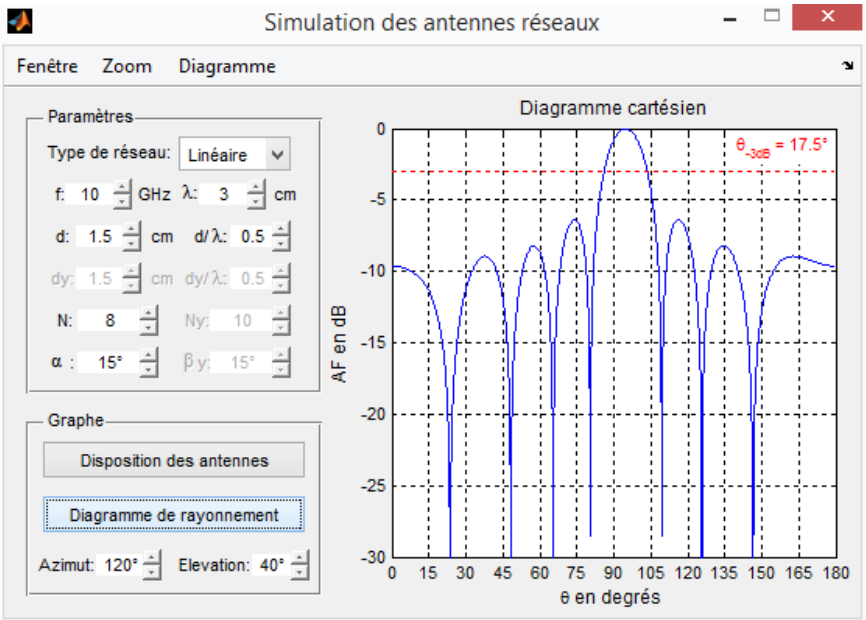


Figure 4.06 : *Diagramme de rayonnement cartésienne* avec d/λ=0.5

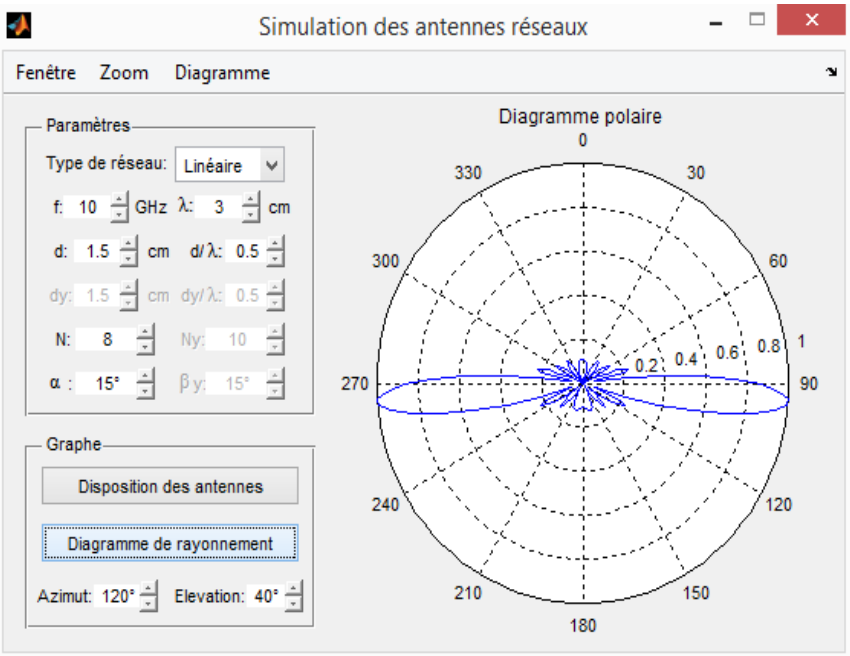


Figure 4.07 : *Diagramme polaire* avec d/λ=0.5

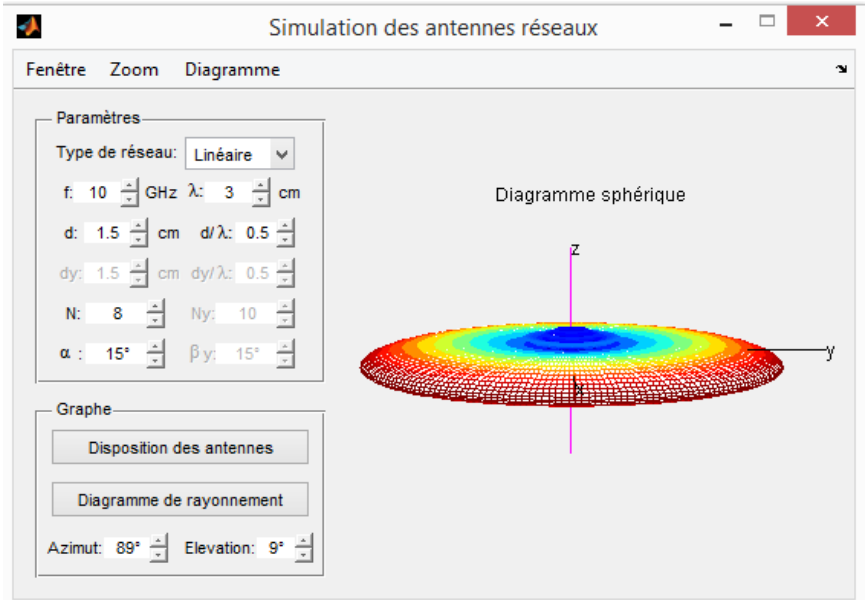


Figure 4.08 : *Diagramme sphérique* avec d/λ=0.5

D'après les résultats obtenus avec le paramètre choisi on voit sur la **Figure 4.06**, **Figure 4.07** et la **Figure 4.08** que le lobe principal est bien dégagé. Autrement dit la valeur de d/λ=0.5 est bien choisi.

Prenons maintenant d/λ=1 et voyons les résultats :

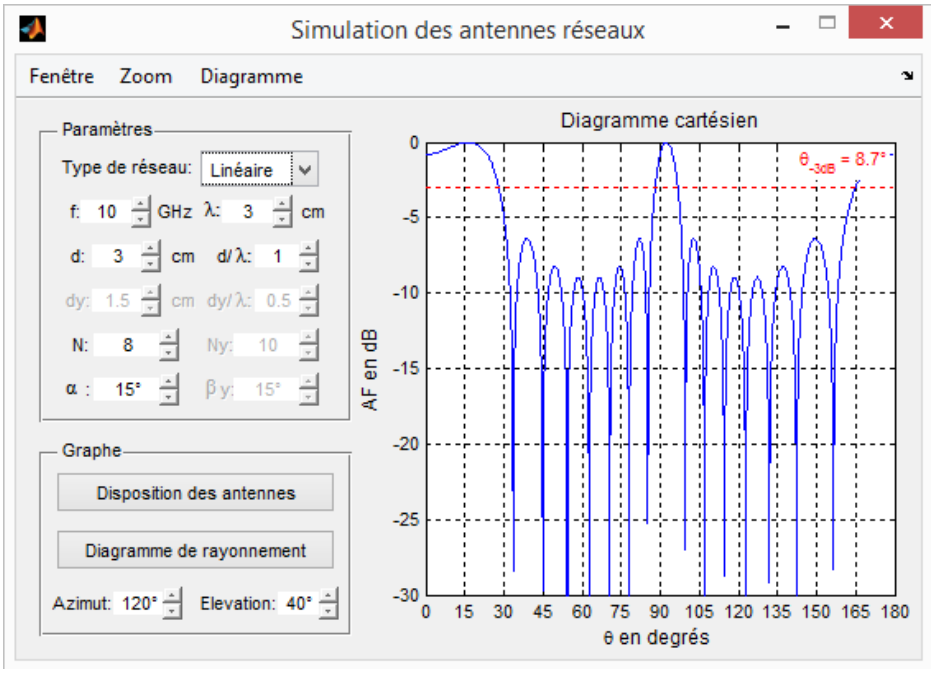


Figure 4.09 : *Diagramme de rayonnement cartésienne* avec d/λ=1

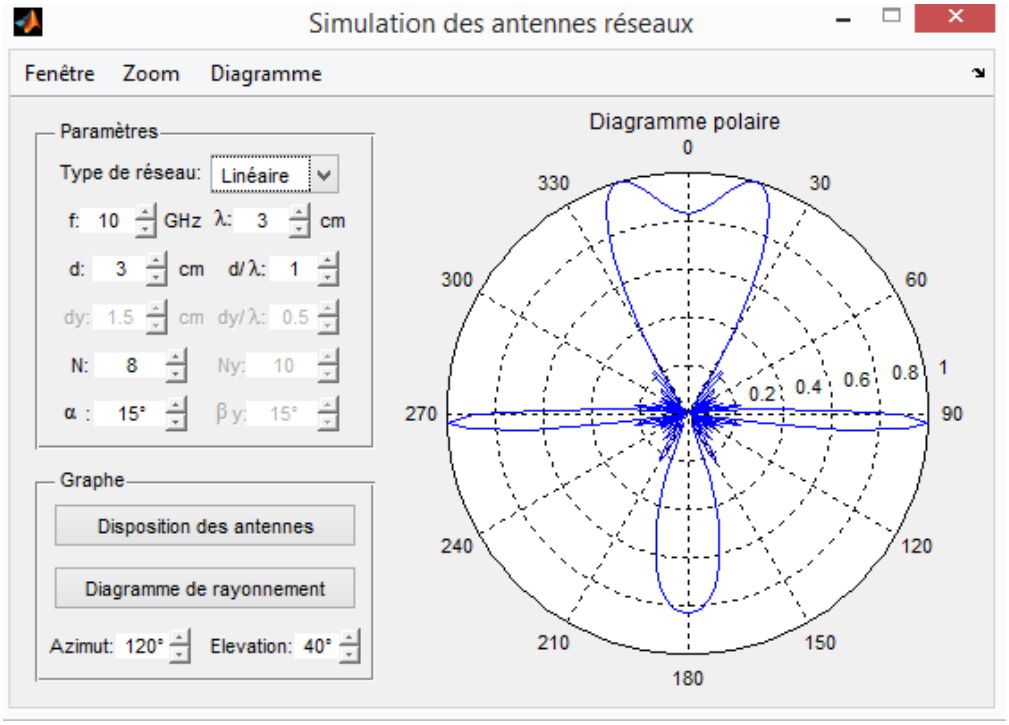


Figure 4.10 : *Diagramme polaire* avec d/λ=1

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

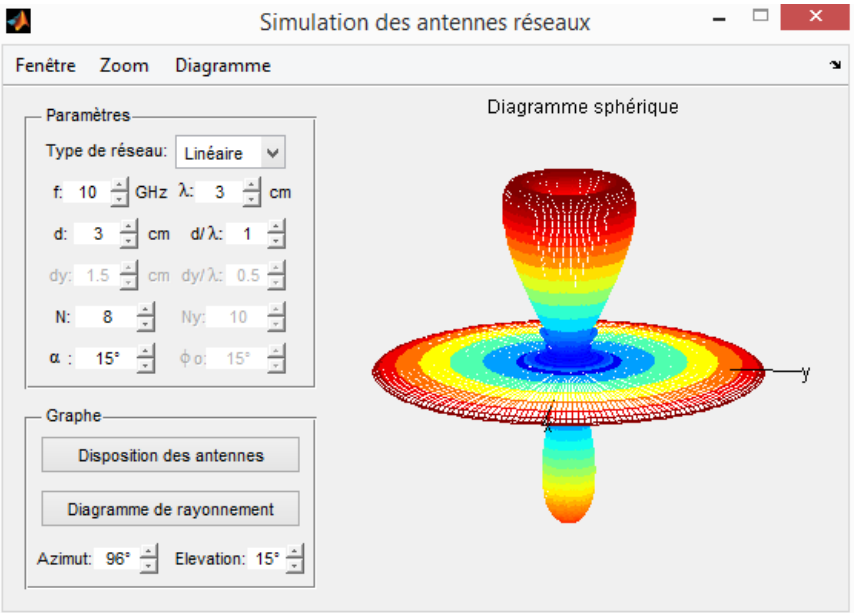


Figure 4.11 : *Diagramme sphérique* avec d/λ=1

En regardant les résultats obtenus sur la **Figure 4.09,** la **Figure 4.10** et la **Figure 4.11** après avoir effectué le changement de paramètres, on trouve que plusieurs lobes apparaissent avec des angles d'ouvertures considérables et d'autres qui sont mal constituées. Ce qui prouve que le paramètre choisi n'est pas très approprié.

A présent on essaye avec un paramètre inférieure à 0.5 donc d/λ=0.25 :

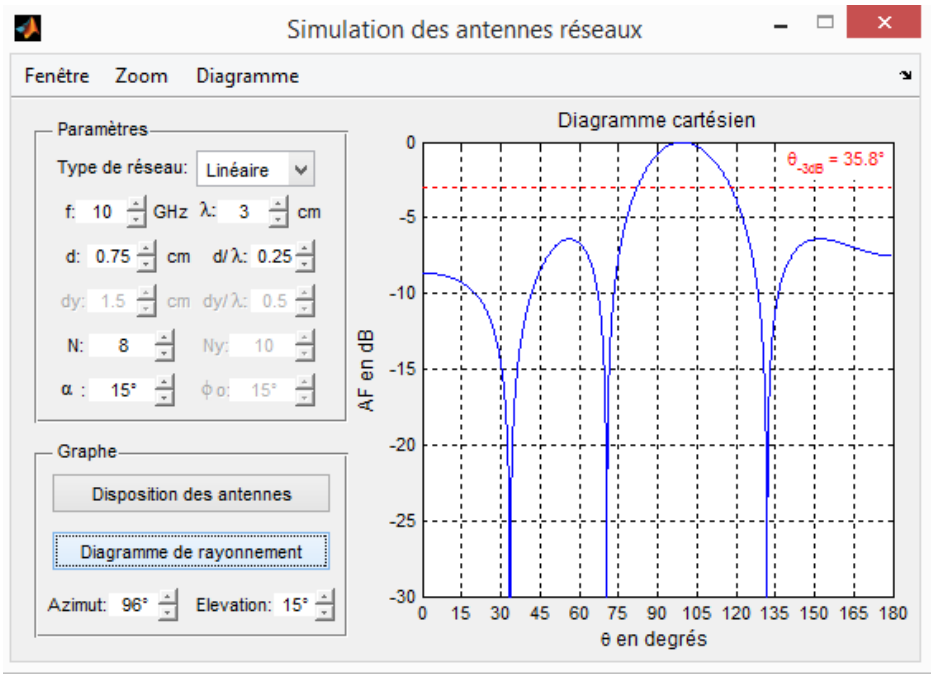


Figure 4.12 : *Diagramme de rayonnement cartésien* avec d/λ=0.25

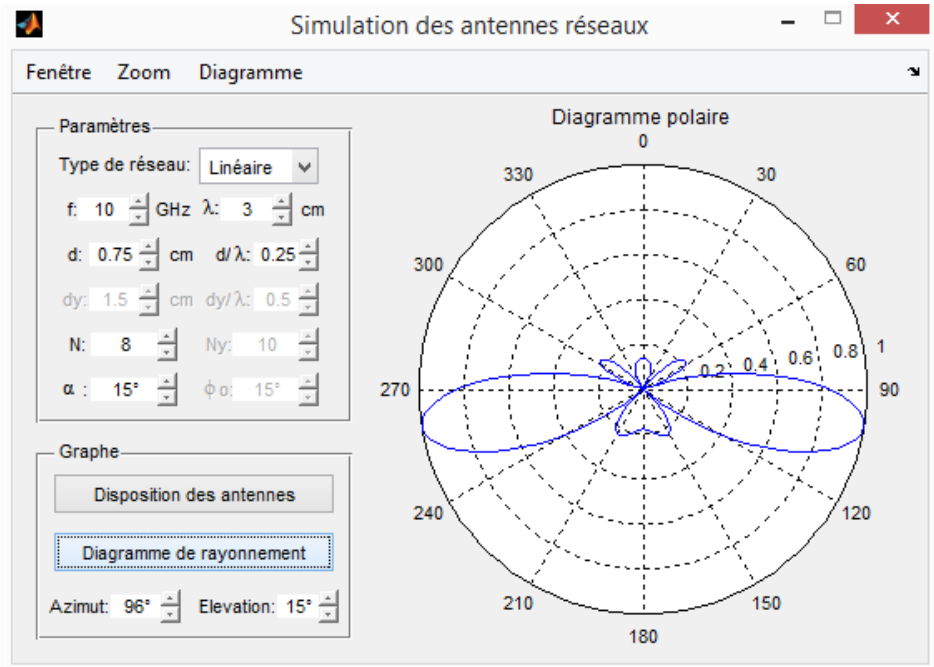


Figure 4.13 : *Diagramme polaire* avec d/λ=0.25

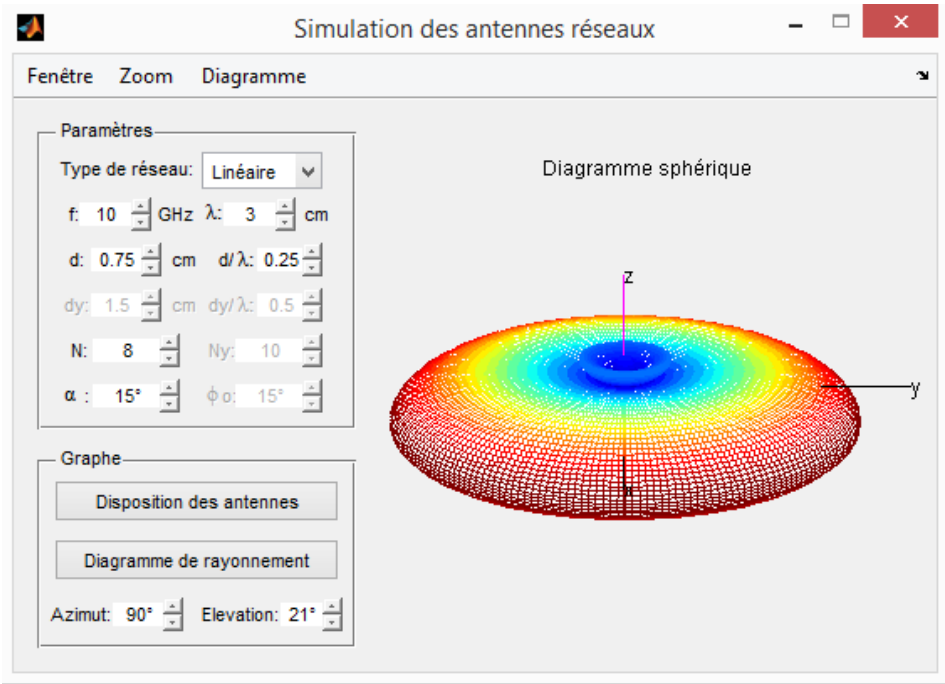


Figure 4.14: *Diagramme sphérique* avec d/λ=0.25

Pour interpréter les résultats obtenus, nous remarquons que le lobe principal montré sur **la Figure 4.12**, la **Figure 4.13** et **la Figure 4.12** est bien dégagé. Cependant l'angle d'ouverture est assez grand. Et on ne doit pas oublier que plus l'angle d'ouverture est assez grand et plus il y'a beaucoup d'interférences.

4.4.2.2 Influence de N

Maintenant pour conquérir les résultats selon le paramètre N qui indique le nombre d'antenne élémentaire qui constituent le réseau d'antenne.

Avec N=4 :

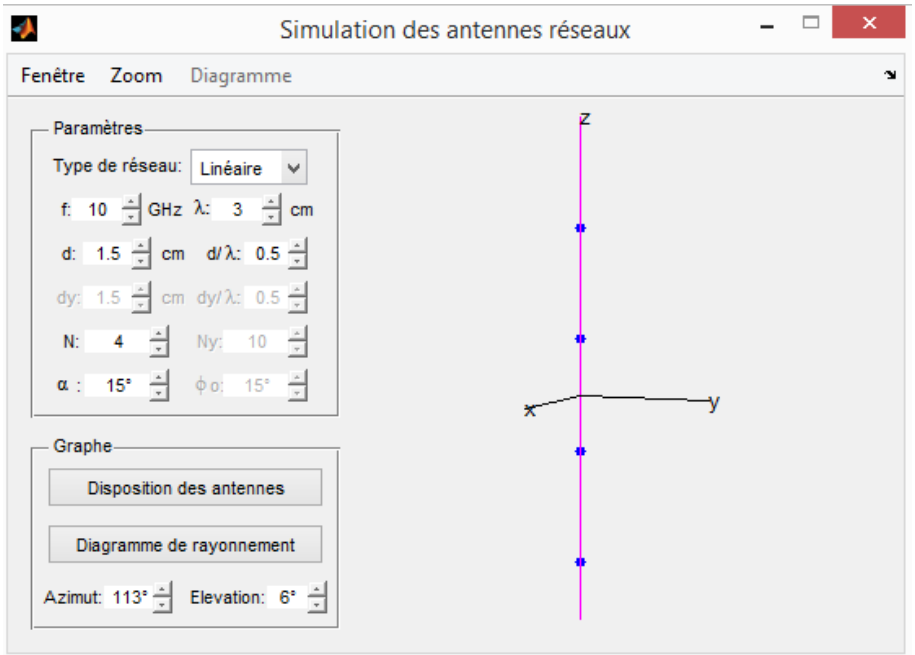


Figure 4.15: *Disposition des antennes avec* N=4

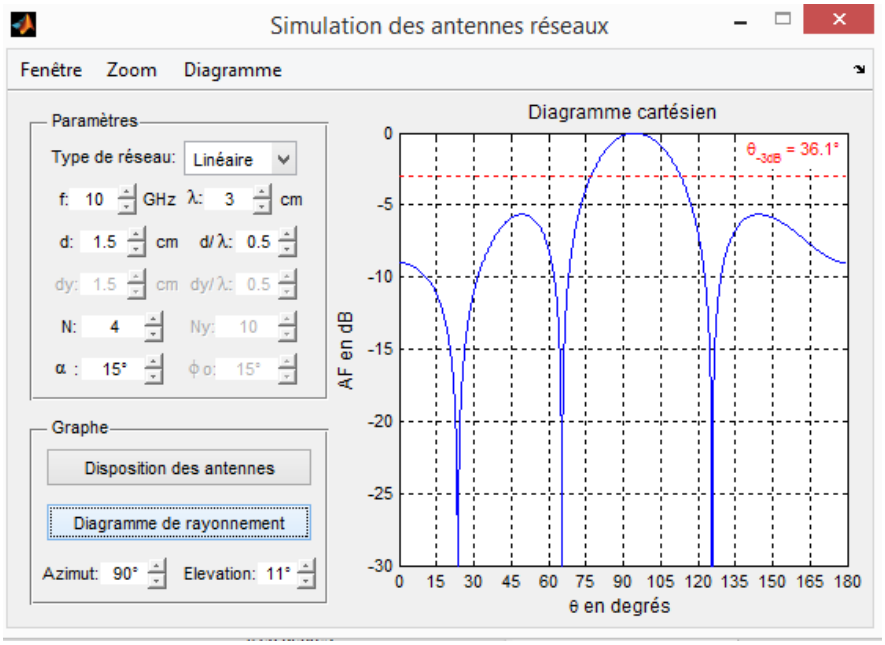


Figure 4.16**:** *Diagramme de rayonnement cartésien avec* N=4

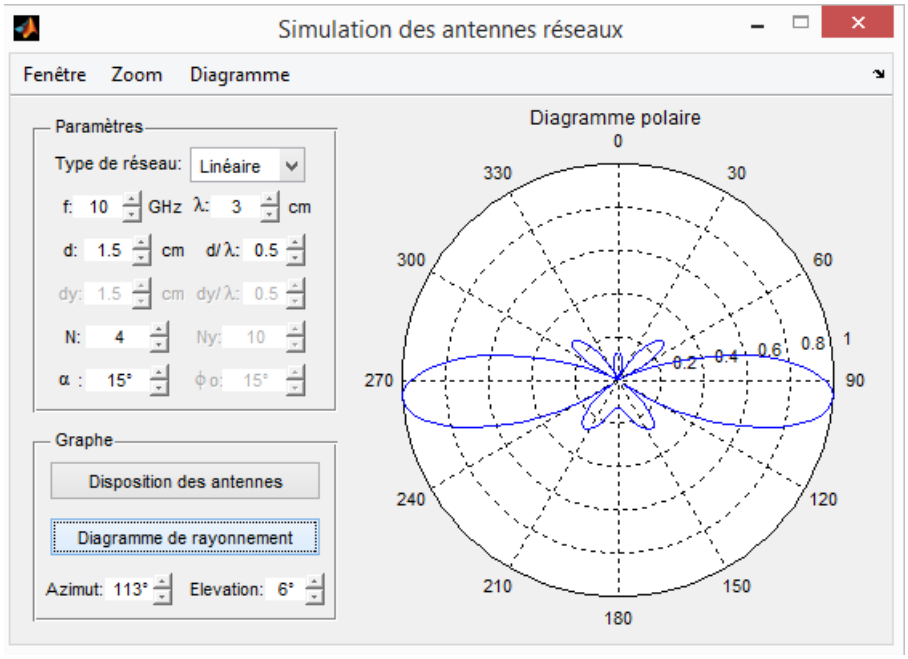


***Figure 4.17*: *Diagramme polaire avec* N=4**

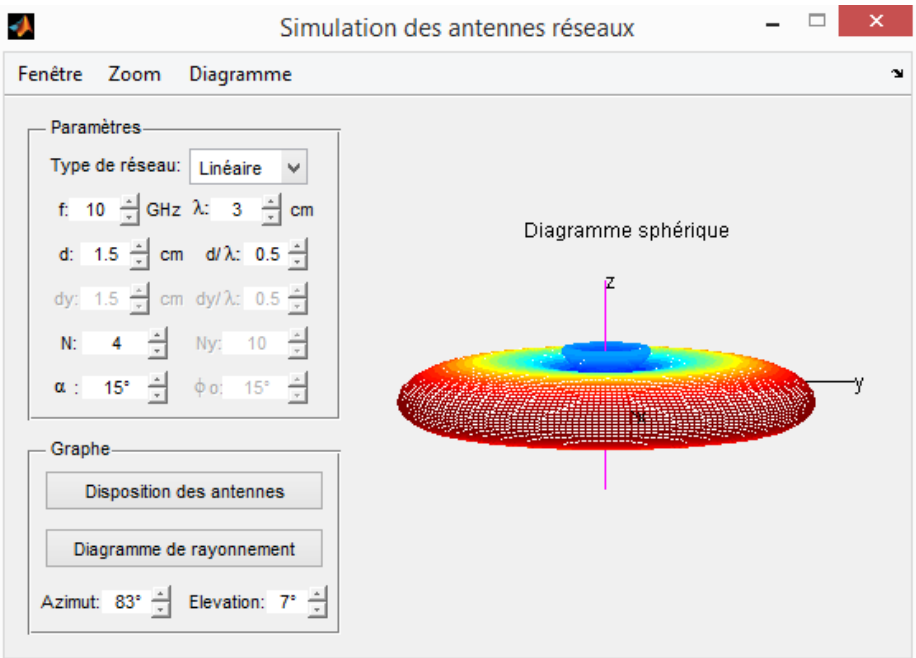


***Figure 4.18*: *Diagramme sphérique avec* N=4**

Avec N=8 :

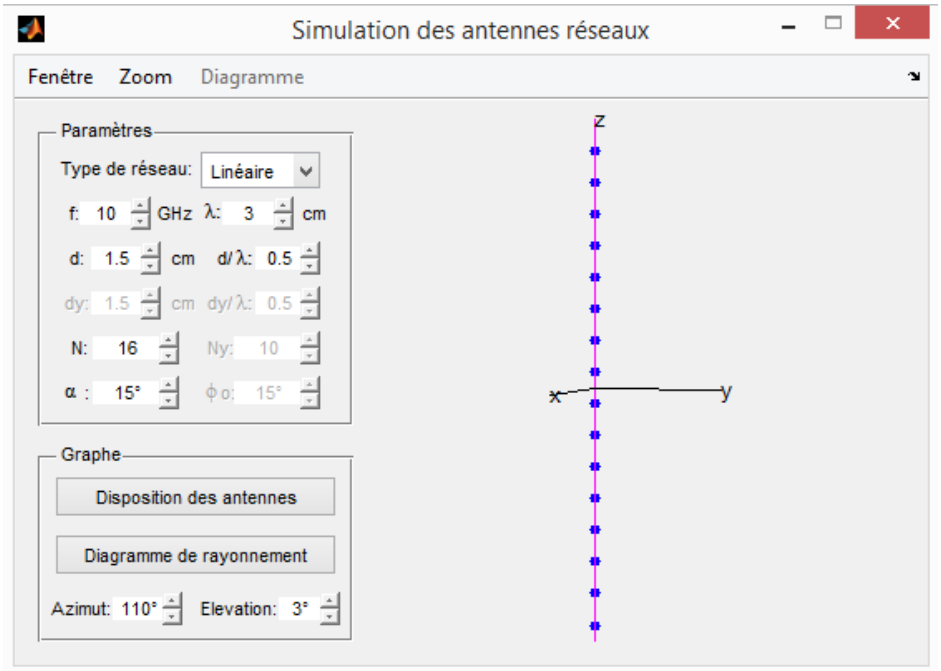


Figure 4.19 : *Disposition des antennes avec* N=8

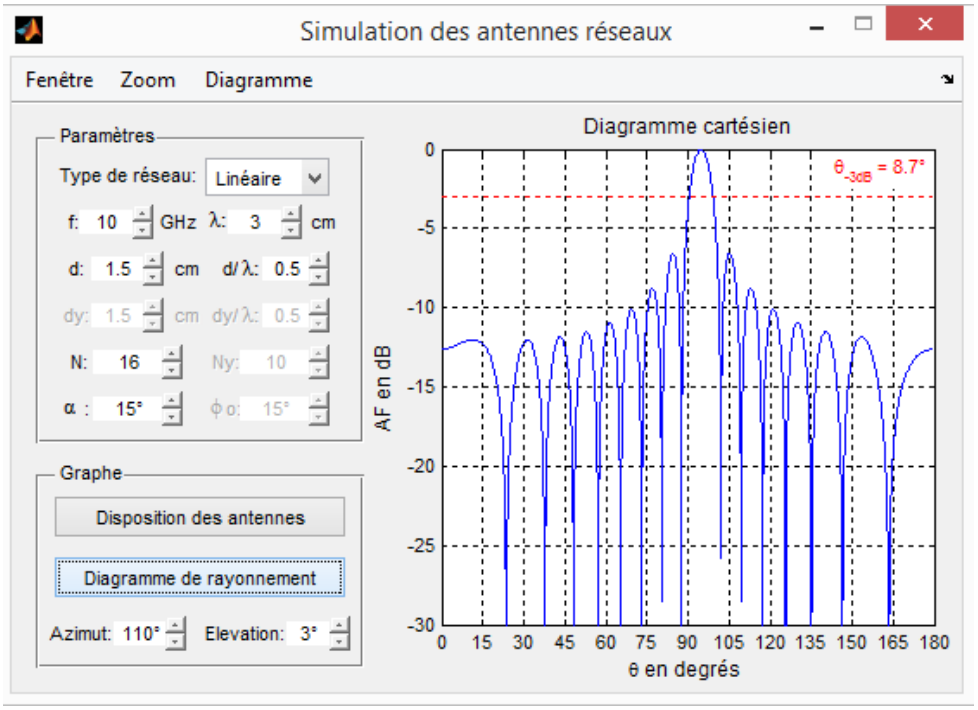


Figure 4.20: *Diagramme de rayonnement cartésien avec* N=8

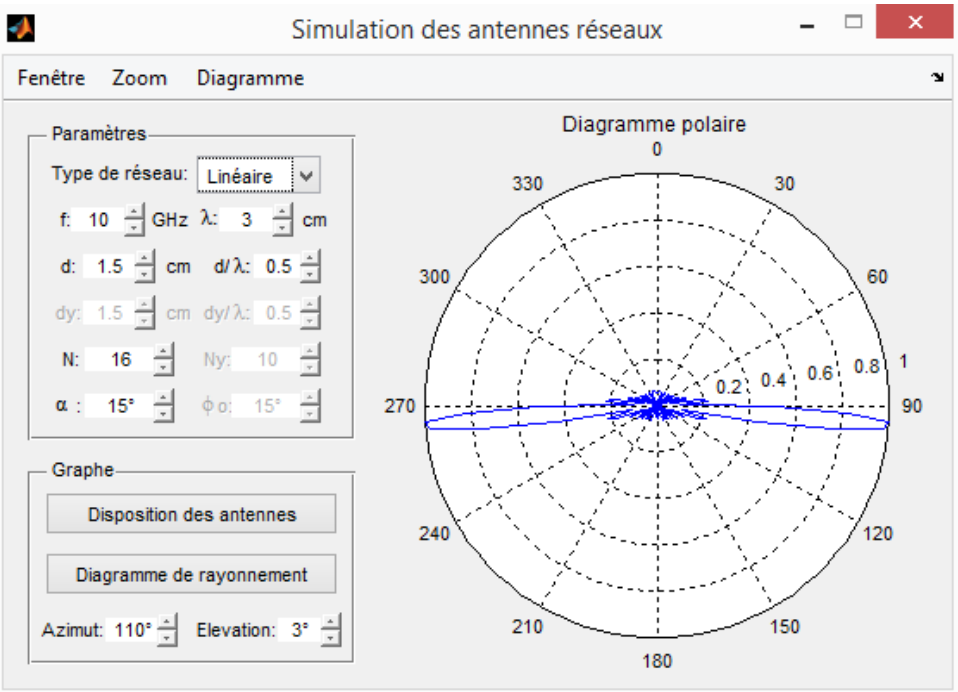


Figure 4.21: *Diagramme de rayonnement polaire avec* N=8

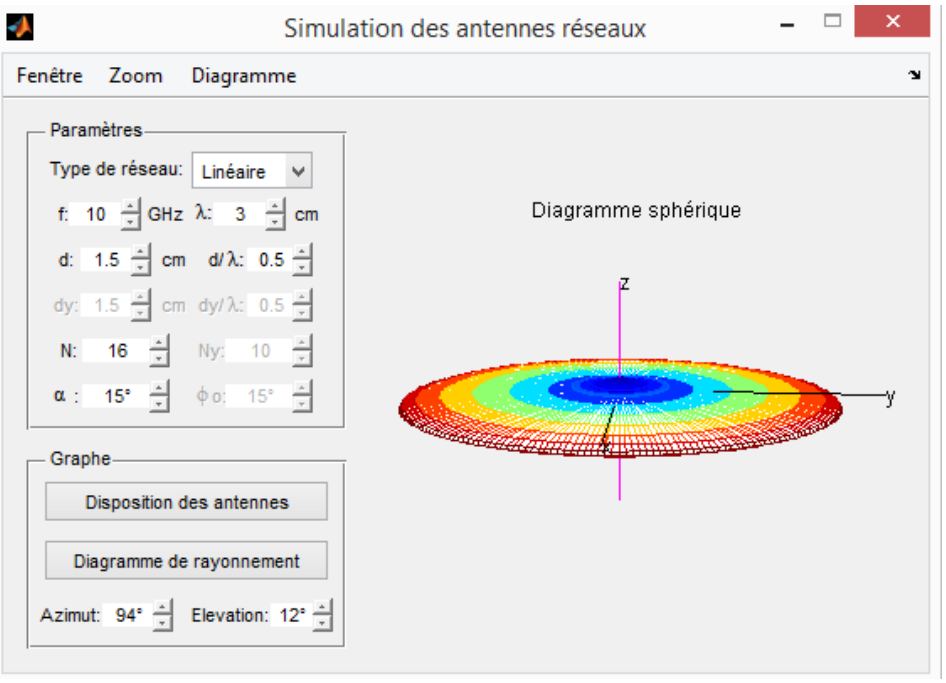


***Figure 4.22*:** *Diagramme de rayonnement polaire avec* N=8

Avec N=36 :

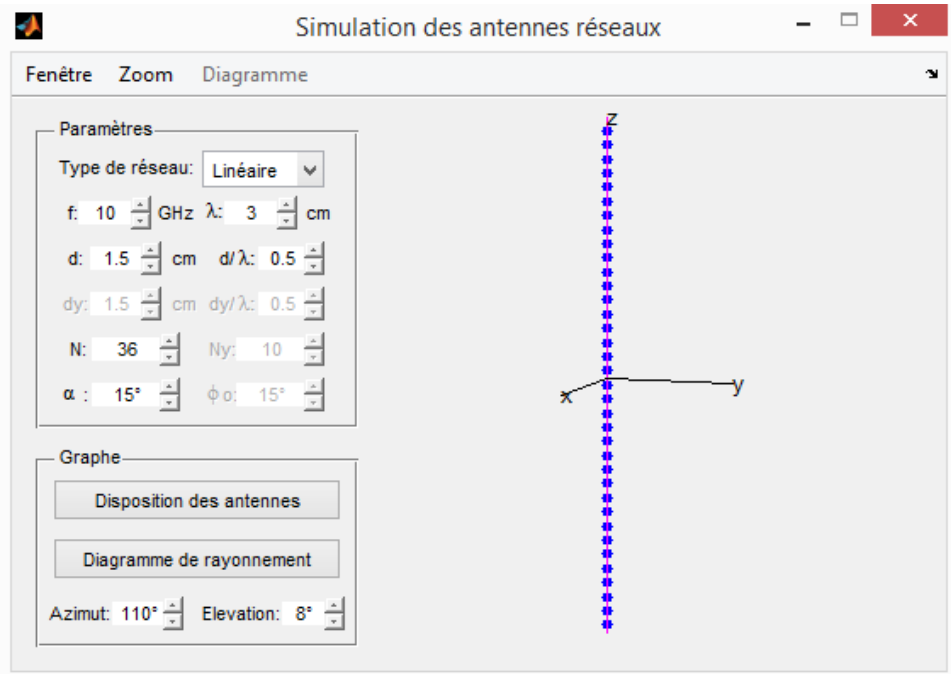


***Figure 4.23*: *Disposition des antennes avec* N=36**

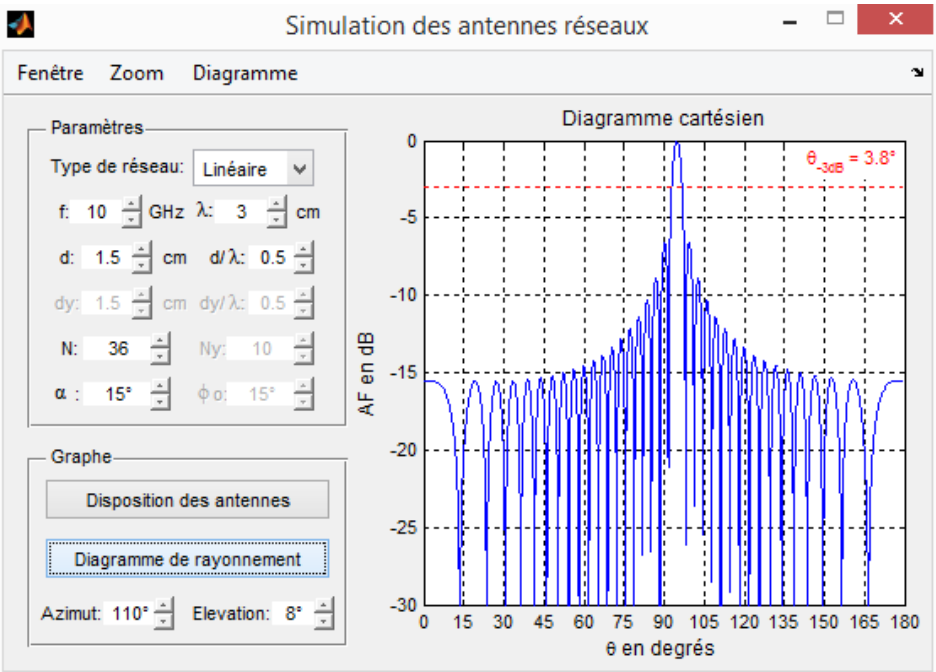


Figure 4.24: *Diagramme de rayonnement cartésien avec* N=36

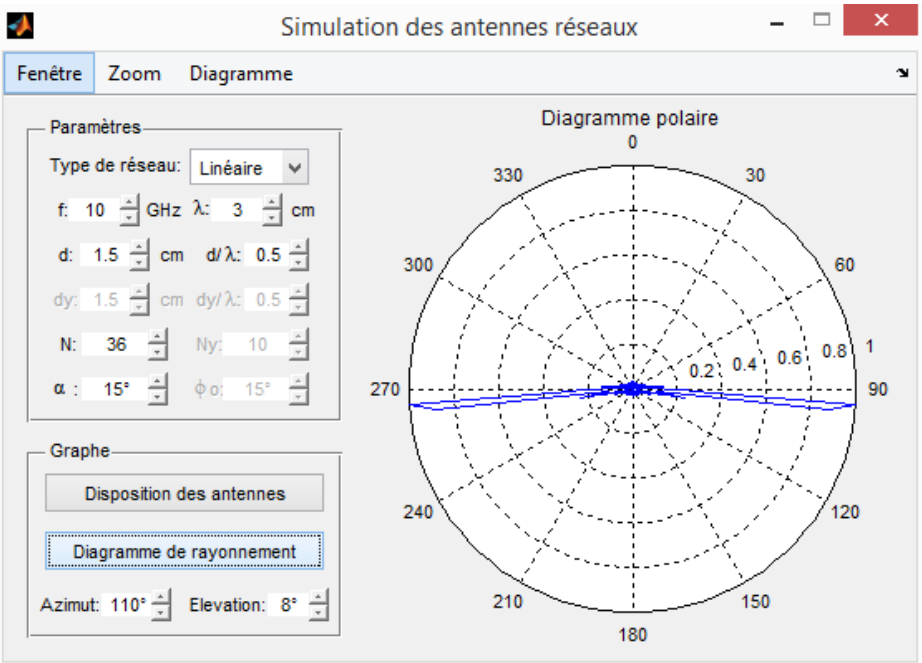


Figure 4.25: *Diagramme de rayonnement polaire avec* N=36

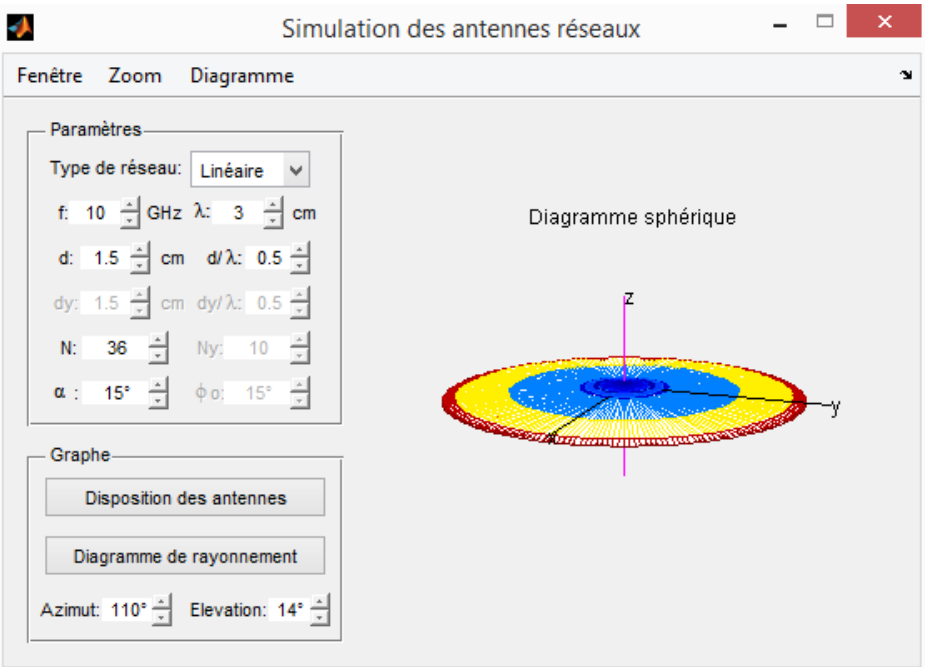


Figure 4.26: *Diagramme de rayonnement polaire avec* N=36

Les différents diagrammes obtenus depuis la **Figure 4.15** jusqu'à la **Figure 4.26**, nous montrent que plus le nombre d'antenne N augmente et plus les lobes secondaires diminuent. En revanche, le lobe primaire se dégage aussi bien.

4.4.2.3 Influence de α

Ce paramètre joue un rôle majeur sur les éléments d'excitation. Prenons d'abord α=5.

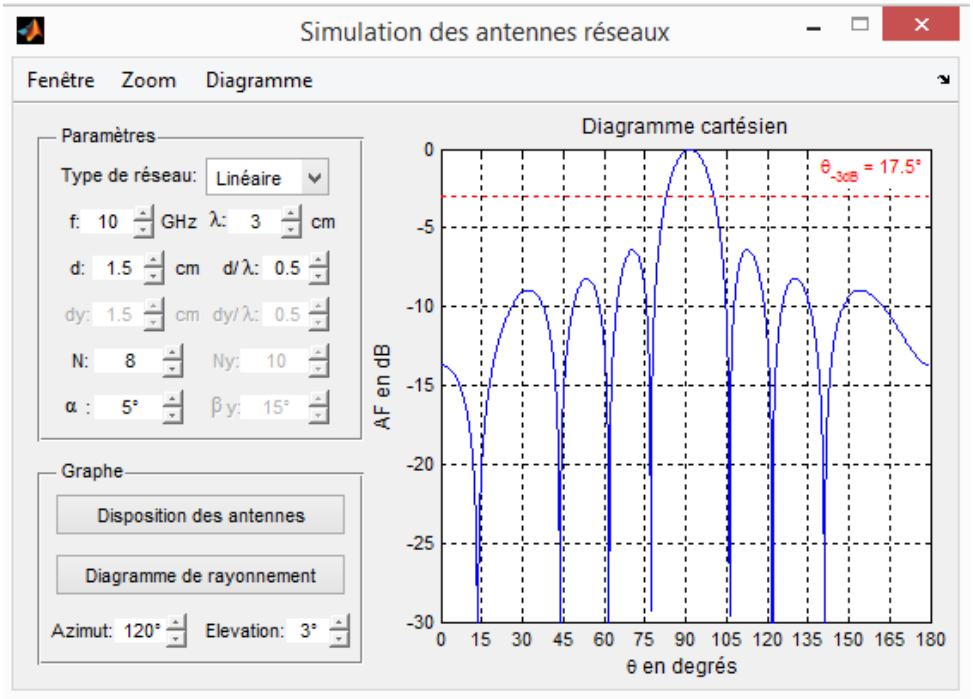


Figure 4.27: *Diagramme de rayonnement cartésien avec* α=5

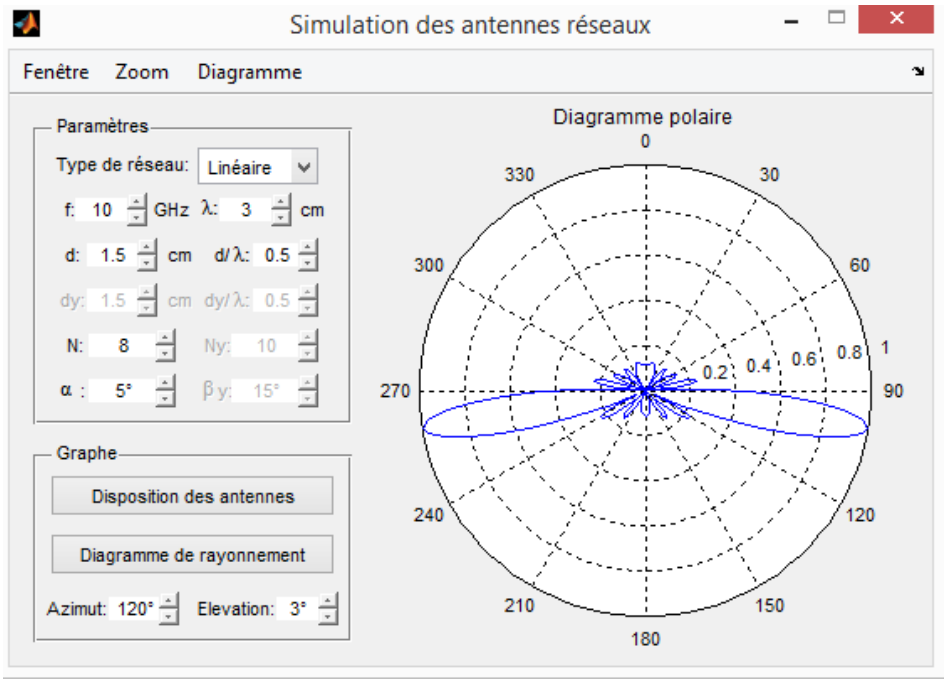


Figure 4.28: *Diagramme de rayonnement cartésien avec* α=5

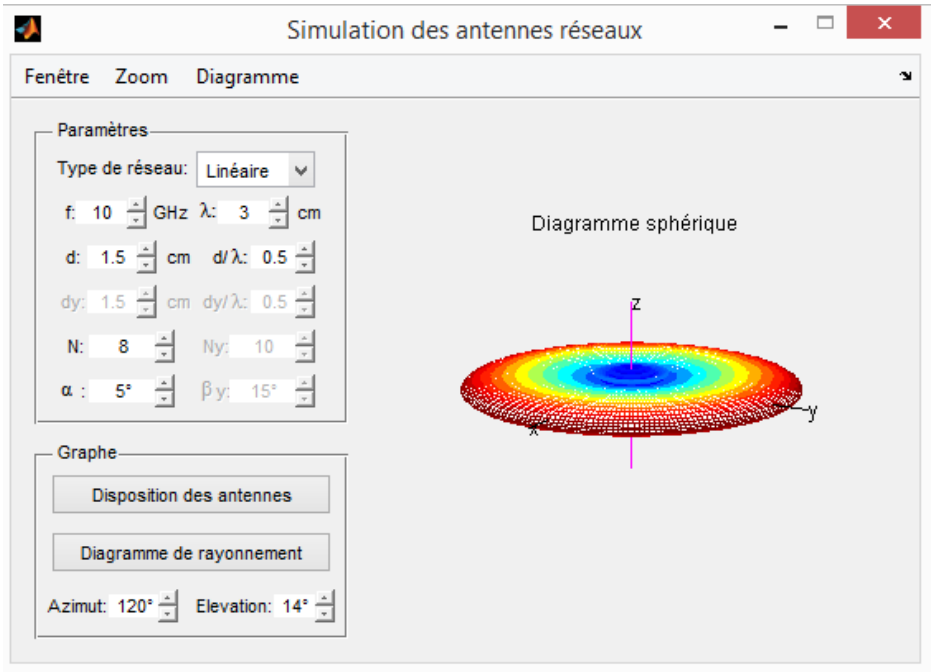


Figure 4.29: *Diagramme de rayonnement sphérique avec* α=5

Avec α=45

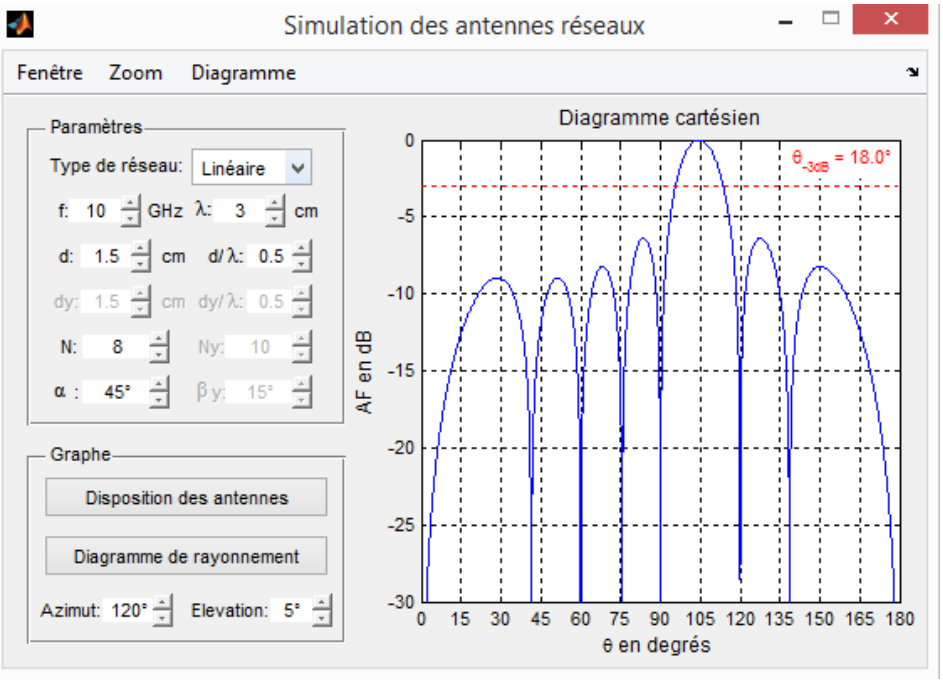


Figure 4.30: *Diagramme de rayonnement cartésien avec* α=45

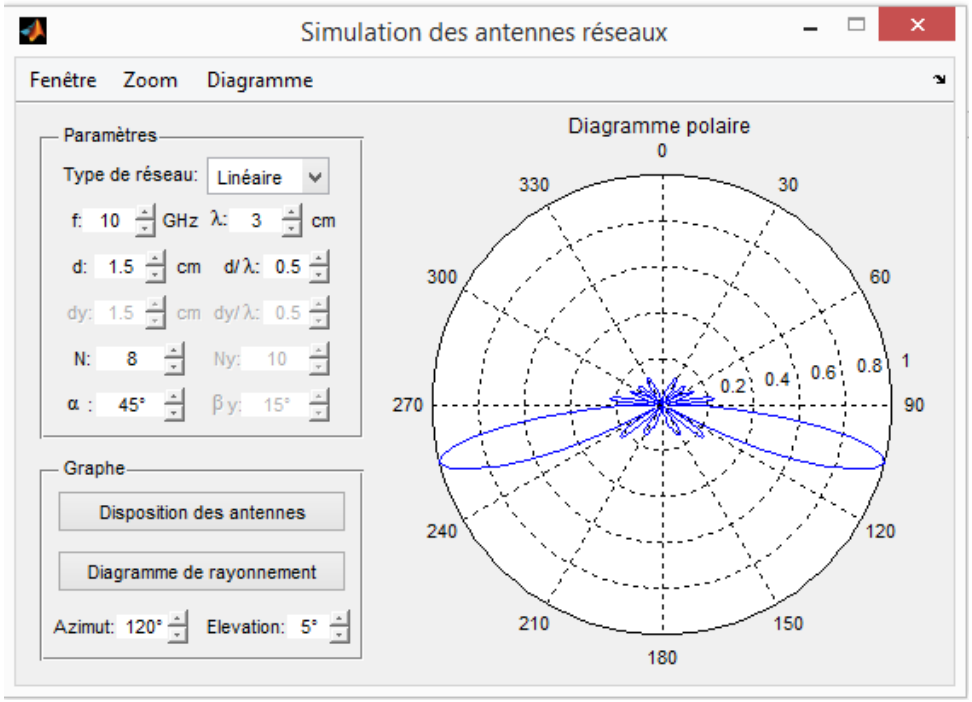


Figure 4.31: *Diagramme de rayonnement polaire avec α*=45

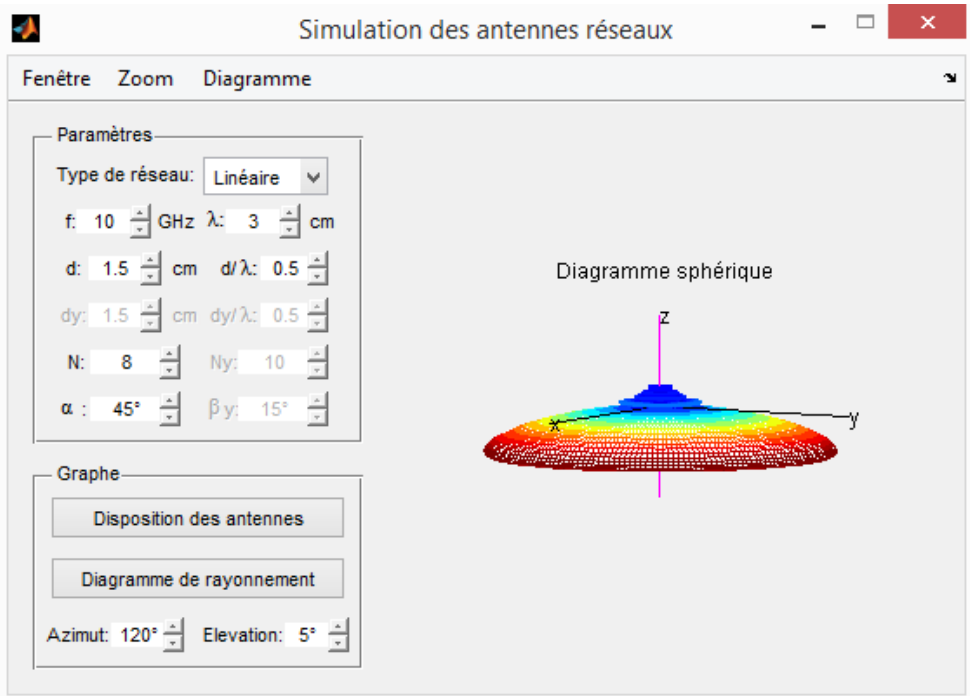


Figure 4.32: *Diagramme de rayonnement polaire avec α*=45

Avec α=180

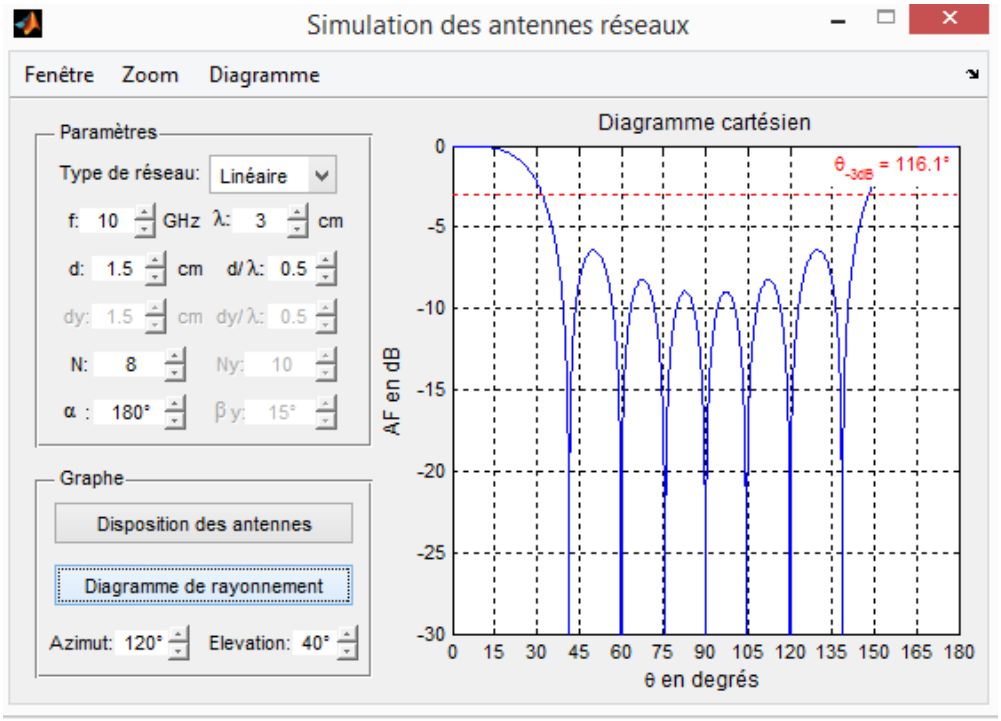


Figure 4.33 : *Diagramme de rayonnement cartésien avec* α=180

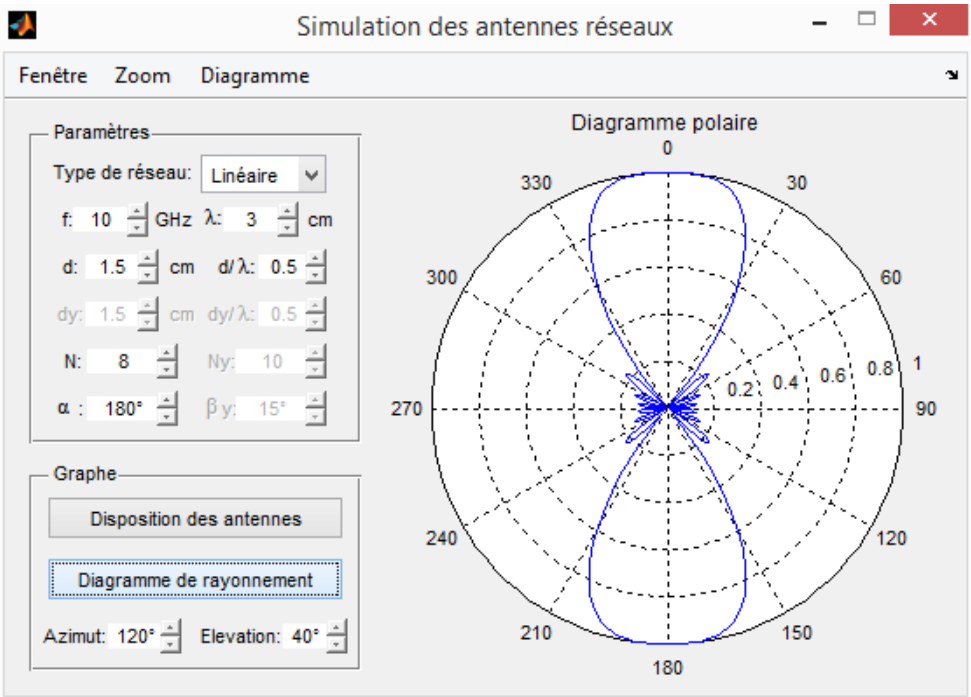


Figure 4.34 : *Diagramme de rayonnement polaire avec* α=180

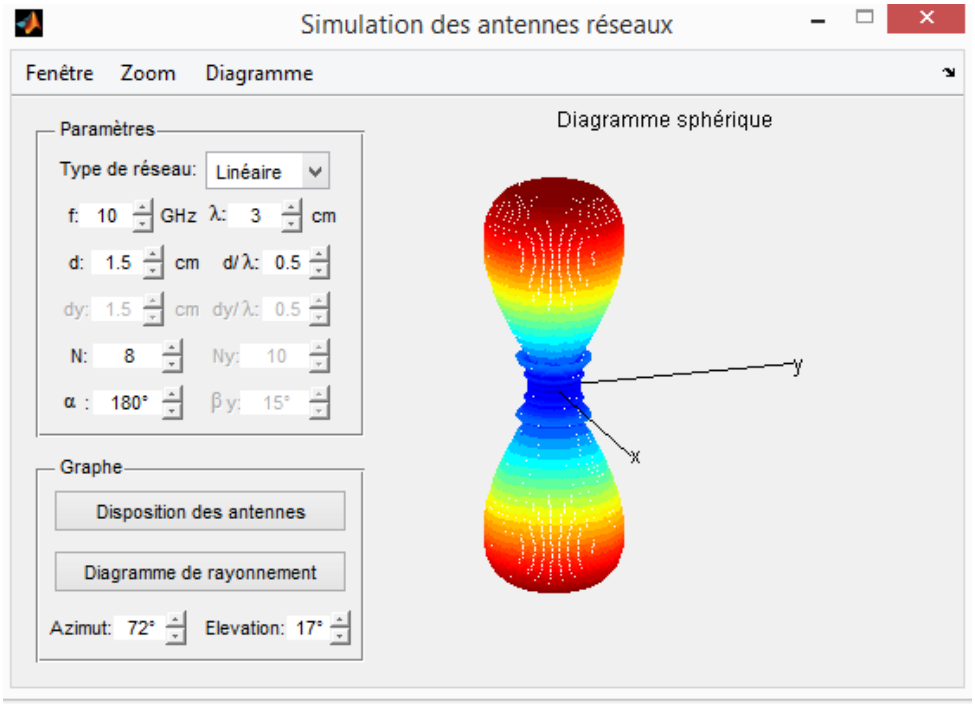


Figure 4.35: *Diagramme de rayonnement sphérique avec* α=180

D'après les résultats depuis la **figure 4.27** et la **figure 4.35**, l'angle d'ouverture reste inchangé qu'à partir de α=45. Tandis que lorsque α est grand le premier lobe est mal dégagé. Mais si on se contente des résultats obtenus en entier sur l'influence α il est préférable de rester à l'intervalle [5 ; 44].

4.4.3 Résultats avec le réseau planaire

Les paramètres qui sont en jeu sur ce type de réseau sont déjà présentés sur **le tableau 4.01.** De ce fait nous allons varier les différents paramètres qui assurent le mécanisme du réseau planaire à commencer par les dx/λ et dy/λ.

4.4.3.1 Influence de dx/λ et dy/λ

La distance des éléments peut causer des interférences autrement dit une mal formation de lobe dans le cas où les paramètres ne sont pas choisis prudemment.

Prenons dx/λ=0.5 et dy/λ=0.5

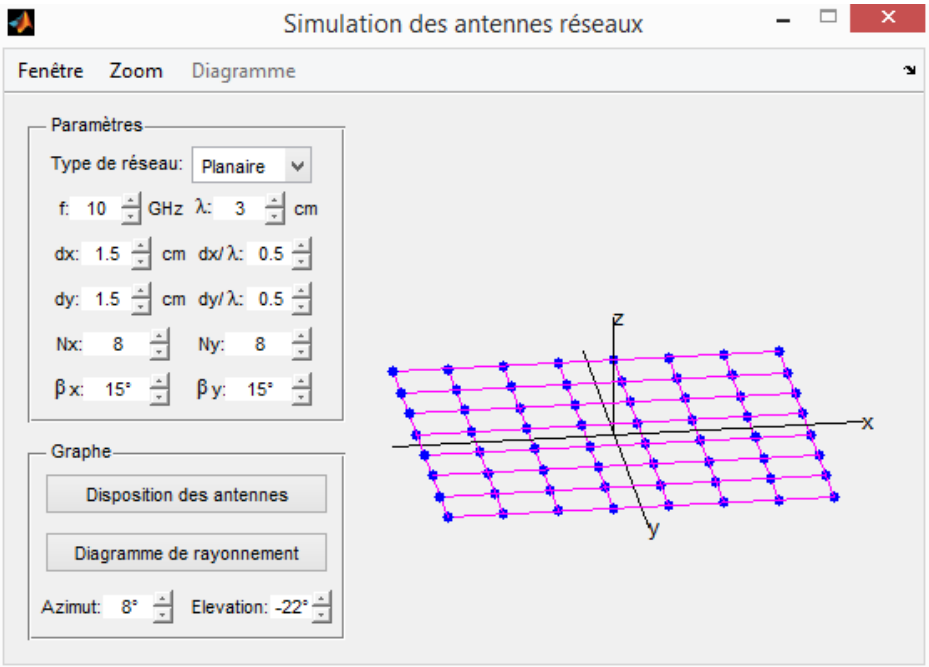


Figure 4.36: *Disposition des antennes avec* $dx/\lambda = 0.5$ *et* $dy/\lambda = 0.5$

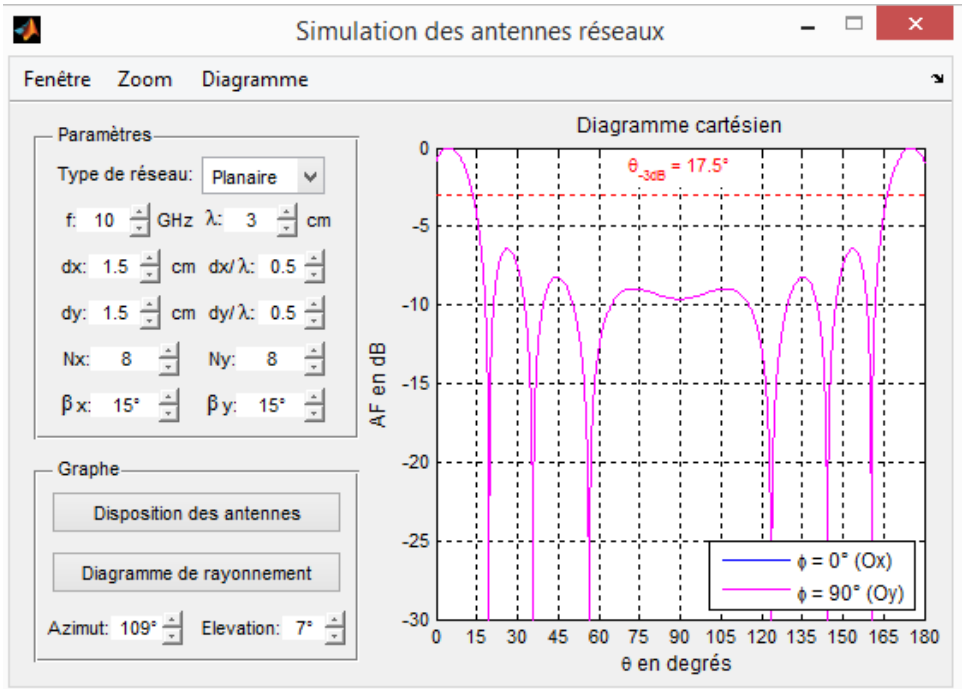


Figure 4.37: *Diagramme de rayonnement cartésien avec* $dx/\lambda = 0.5$ *et* $dy/\lambda = 0.5$

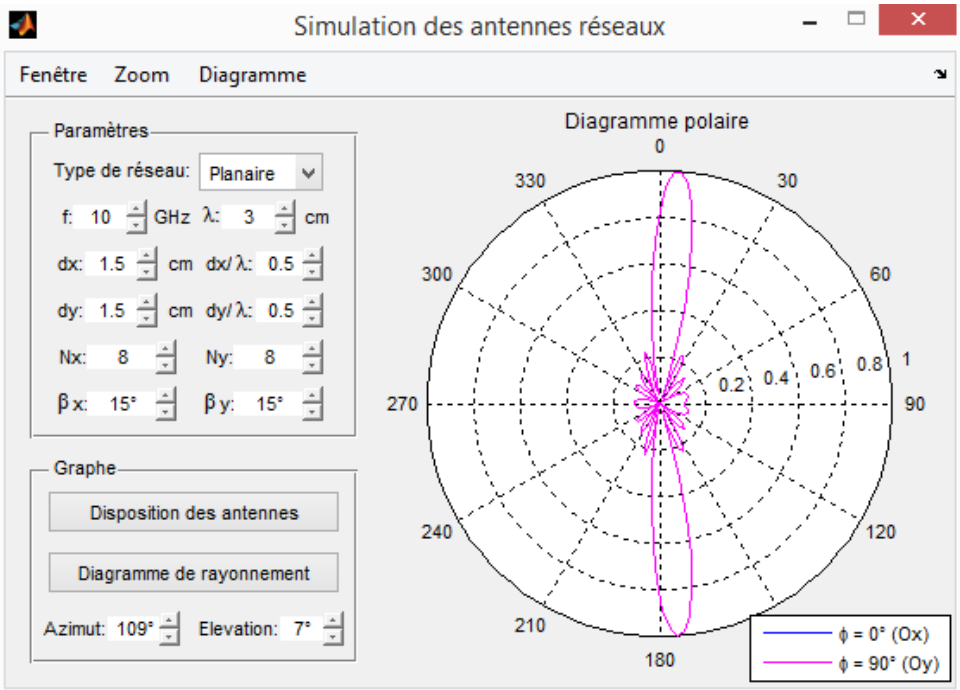


Figure 4.38 : *Diagramme de rayonnement polaire avec* $dx/\lambda = 0.5$ *et* $dy/\lambda = 0.5$

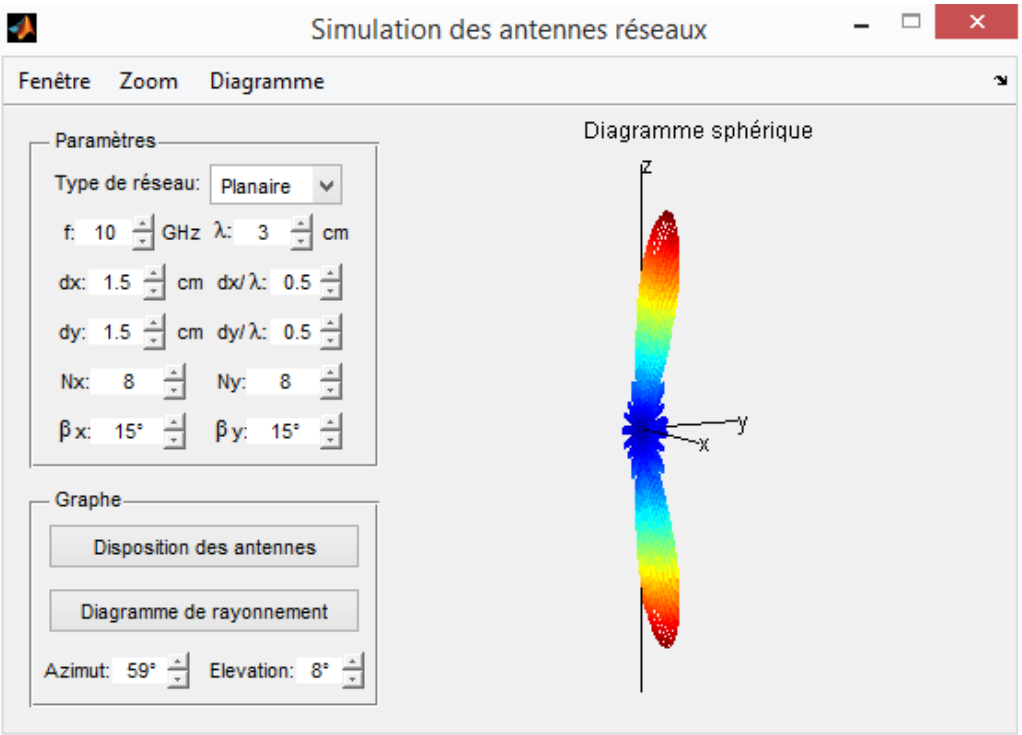


Figure 4.39 : *Diagramme de rayonnement sphérique avec* $dx/\lambda = 0.5$ *et* $dy/\lambda = 0.5$

Avec dx/λ=0.5 et dy/λ=1

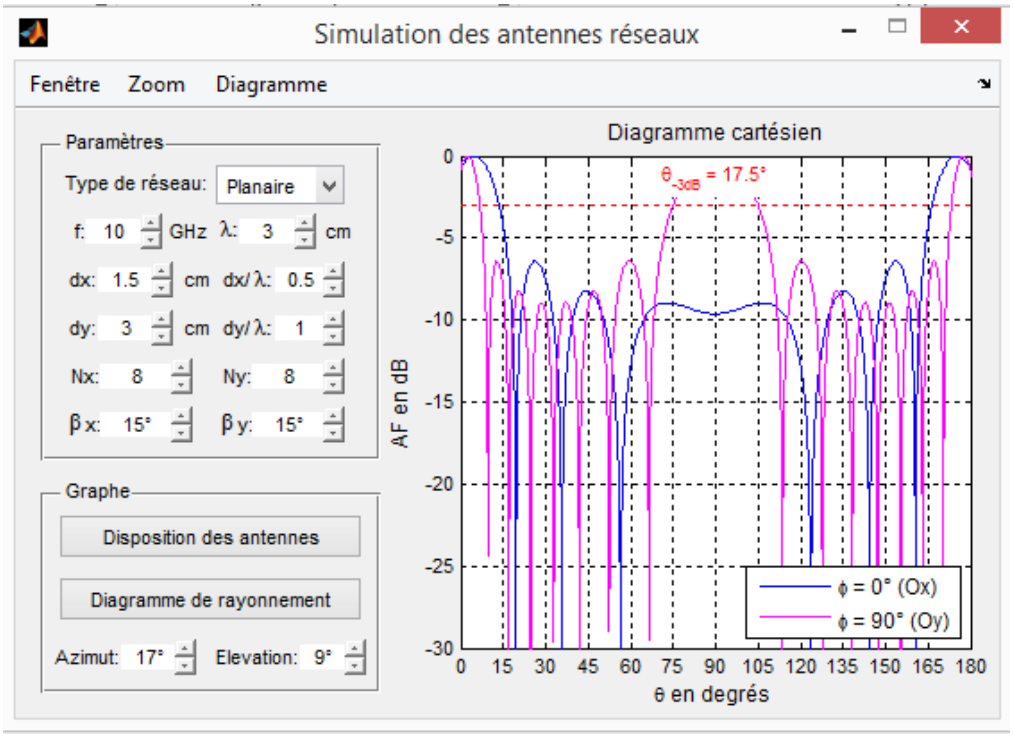


Figure 4.40: *Diagramme de rayonnement cartésien avec* $dx/\lambda = 0.5$ *et* $dy/\lambda = 0.5$

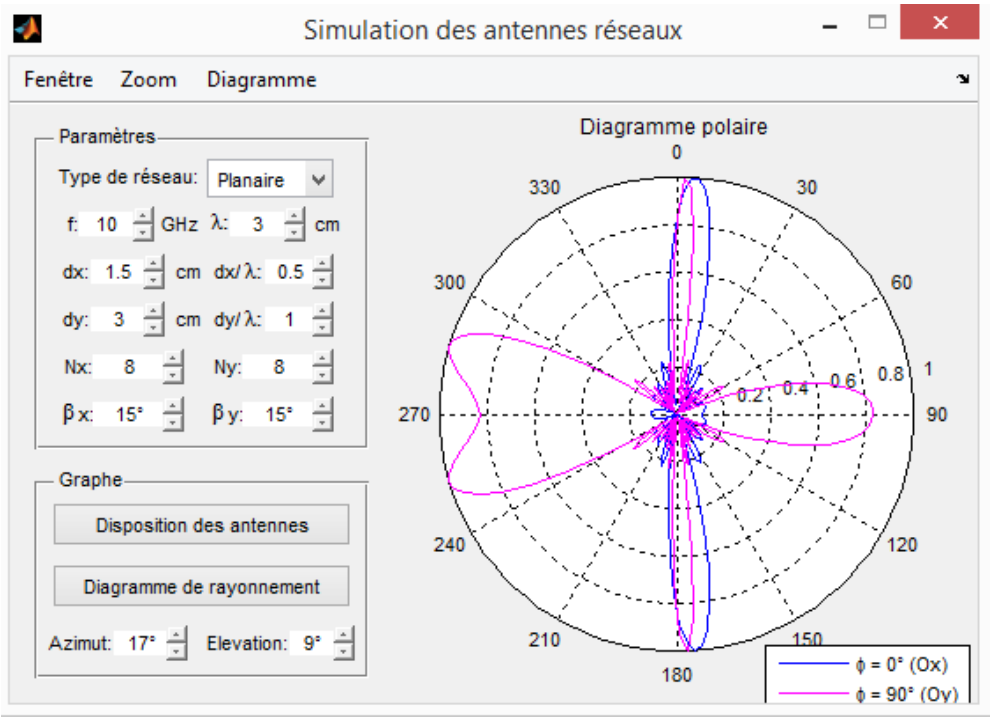


Figure 4.41: *Diagramme de rayonnement polaire avec* $dx/\lambda = 0.5$ *et* $dy/\lambda = 1$

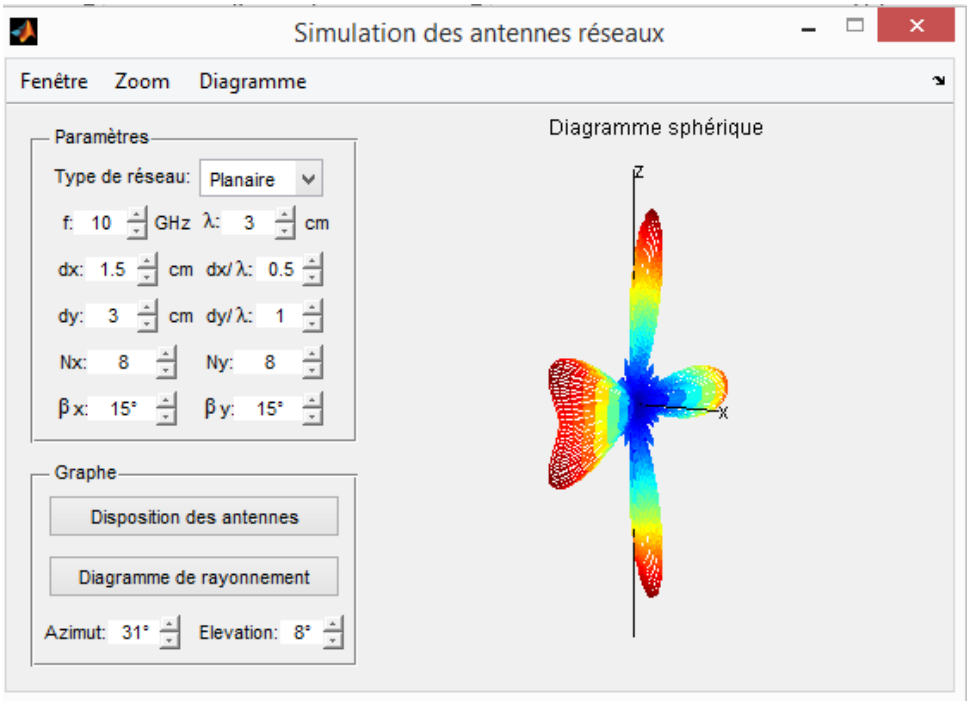


Figure 4.42 : *Diagramme de rayonnement sphérique avec* $dx/\lambda = 0.5$ *et* $dy/\lambda = 0.5$

Les différentes figures qui se présentent lors du changement des paramètres sur le côté verticale et horizontale nous poussent à prétendre que le lobe primaire est bien formé lorsque dx/λ *et* dy/λ sont égales. La **figure 4.37**et la **figure 4.38** ont bien montré que les deux lobes se coïncident au point même qu'on ne voit qu'une seule couleur dont la couleur rose. Cela nous démontre que l'usage d'un même paramètre nous mène à l'ambiguïté.

Ce pendant en s'intéressant à la **figure 4.40 et la figure 4.41**, on voit réellement qu'il existe deux lobes (lobe bleu et lobe rose) si différents ainsi résulte un mauvais dégagement du lobe principale et une multitude de lobes secondaires.

4.4.3.2 Influence de Nx et Ny

Le Nx et Ny indiquent le nombre d'antenne installées verticalement et horizontalement. Actuellement notre travail sera fondé sur l'établissement des antennes sur les deux axes (Ox) et (Oy). Par conséquent on fera varier le nombre d'antenne sur les deux axes distingués.

Prenons d'abord les paramètres suivant : Nx= 4 et Ny=4

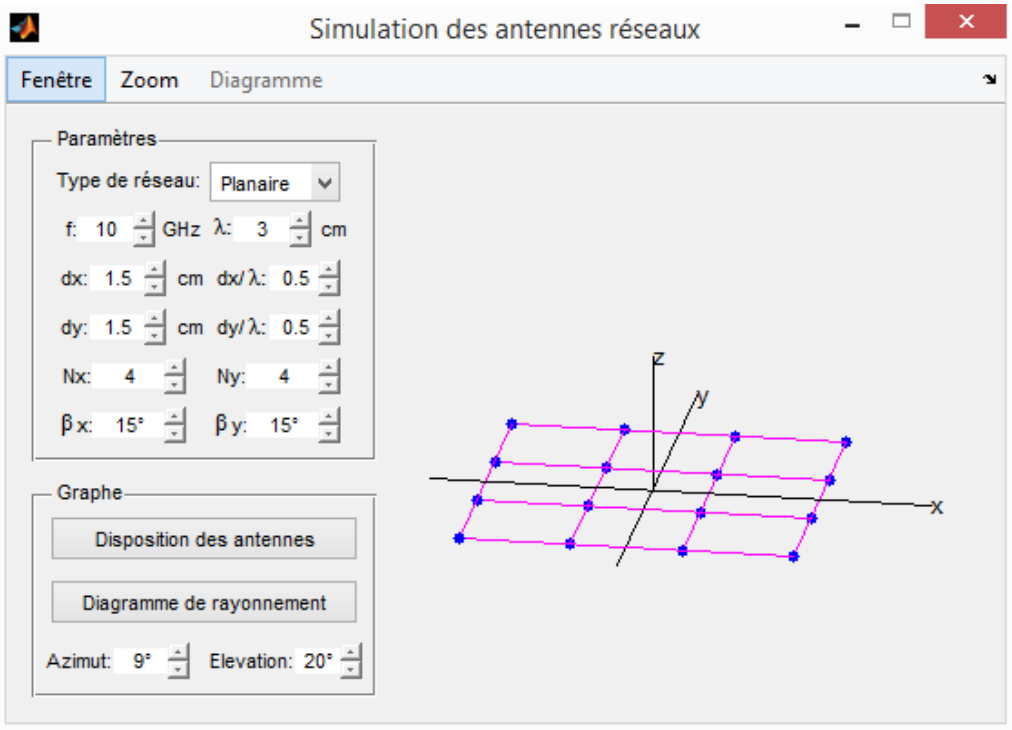


Figure 4.43: *Disposition des antennes avec* $Nx = 4$ *et* $Ny = 4$

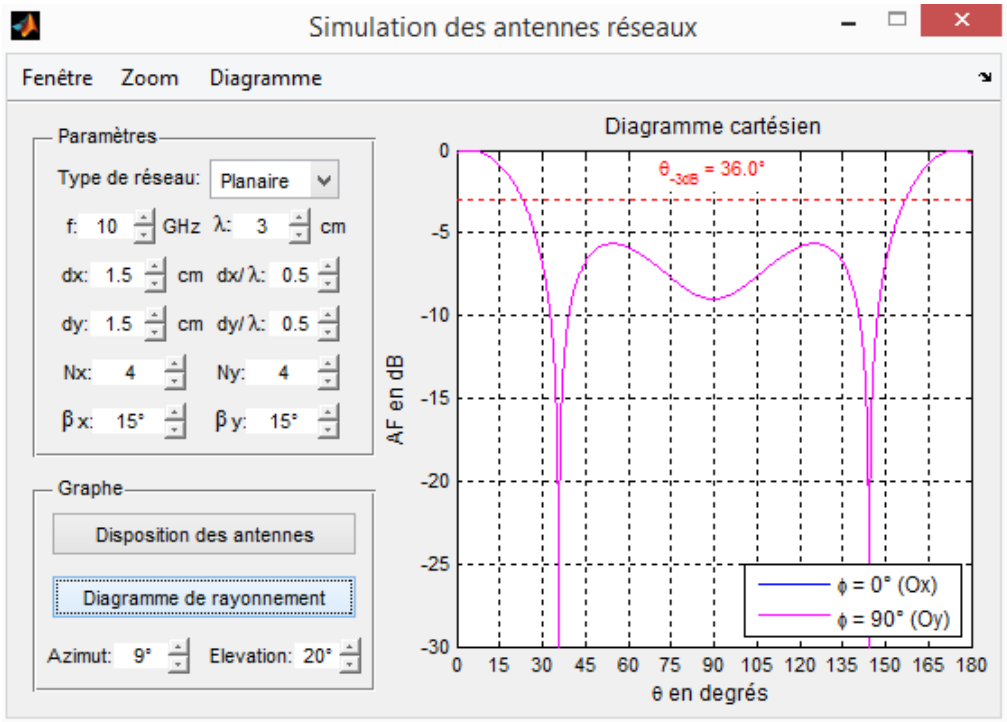


Figure 4.44: *Diagramme de rayonnement cartésien avec* $Nx = 4$ *et* $Ny = 4$

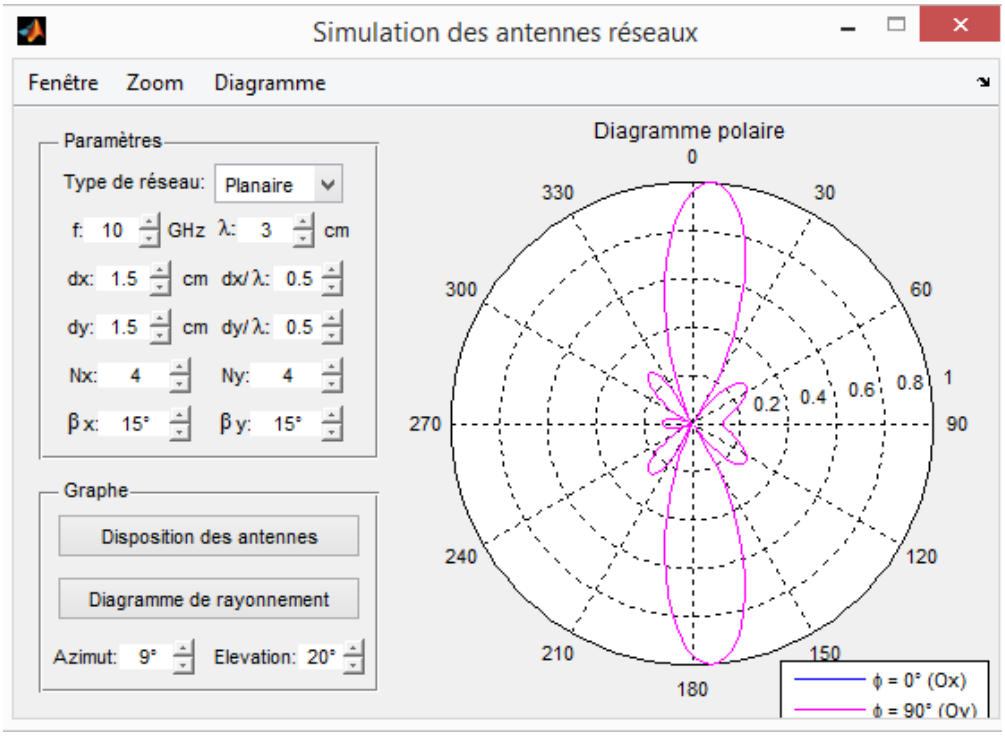


Figure 4.45: *Diagramme de rayonnement polaire avec* $Nx = 4$ *et* $Ny = 4$

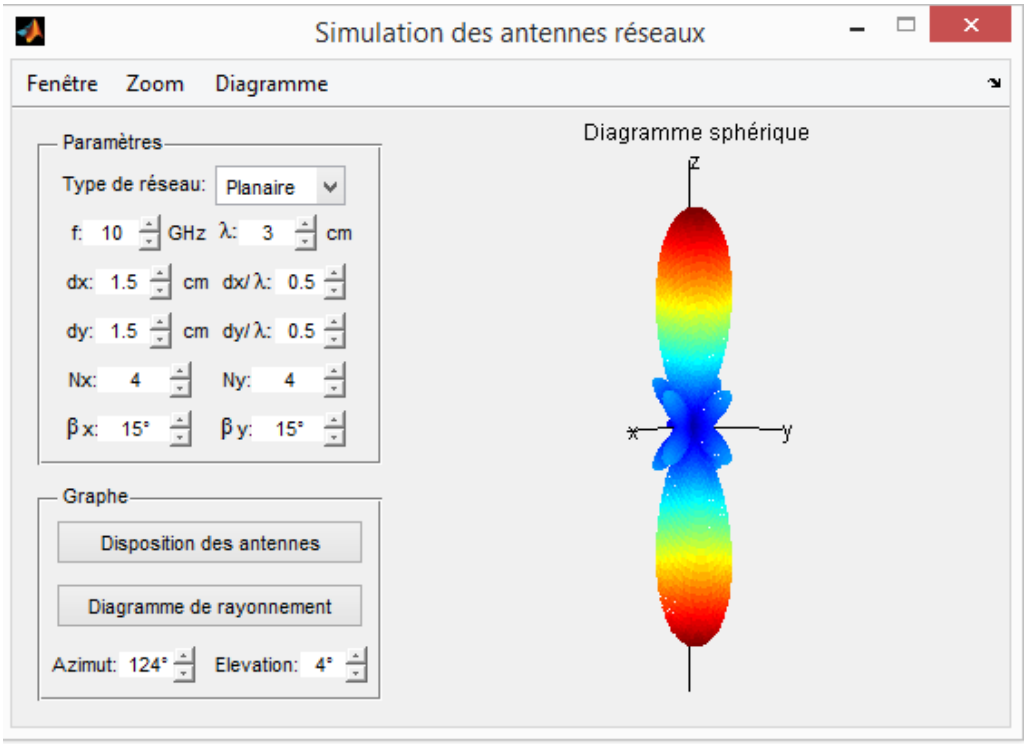


Figure 4.46 : *Diagramme de rayonnement sphérique avec* $Nx = 4$ *et* $Ny = 4$

Avec $Nx = 4\ et\ \ Ny = 8$

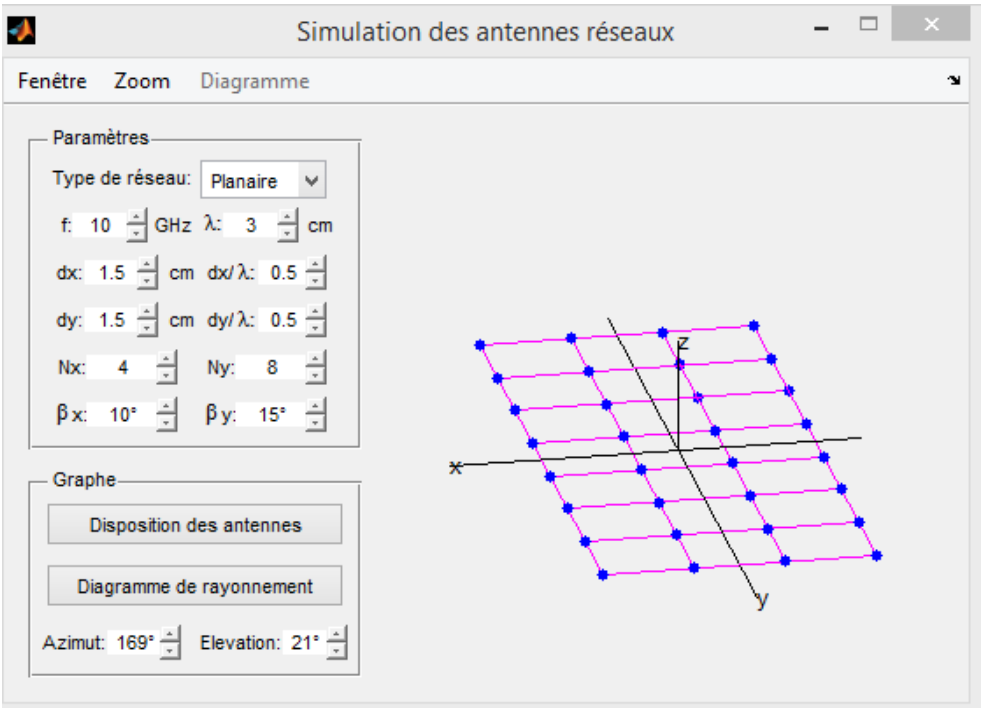


Figure 4.47: *Disposition des antennes avec* $Nx = 4\ et\ \ Ny = 8$

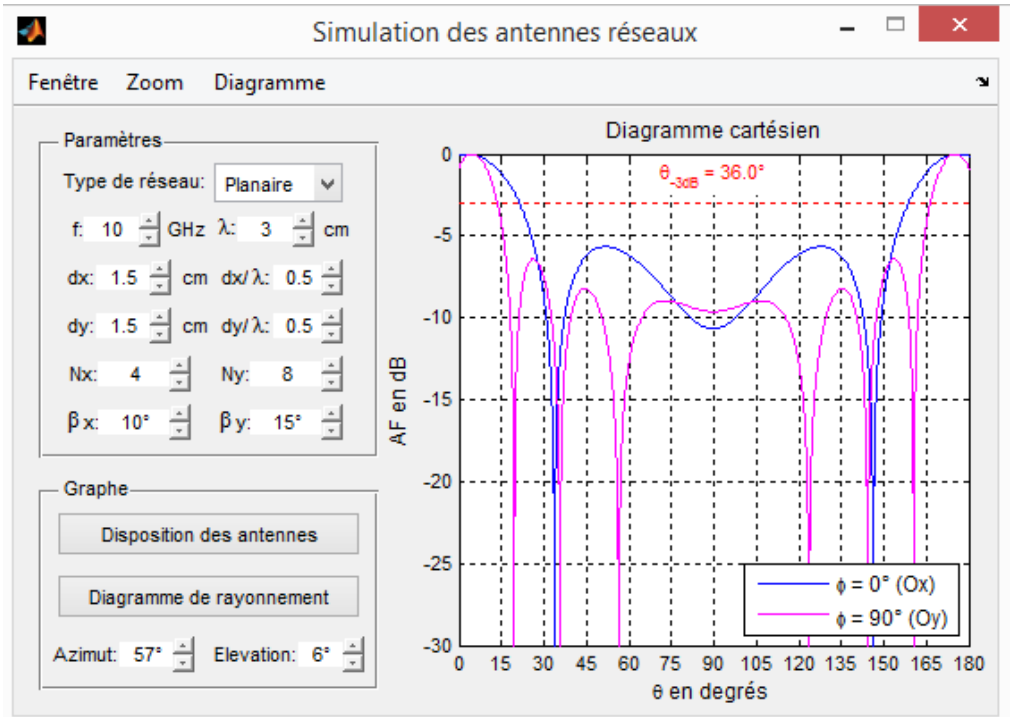


Figure 4.48: *Diagramme de rayonnement cartésien avec* $Nx = 4\ et\ \ Ny = 8$

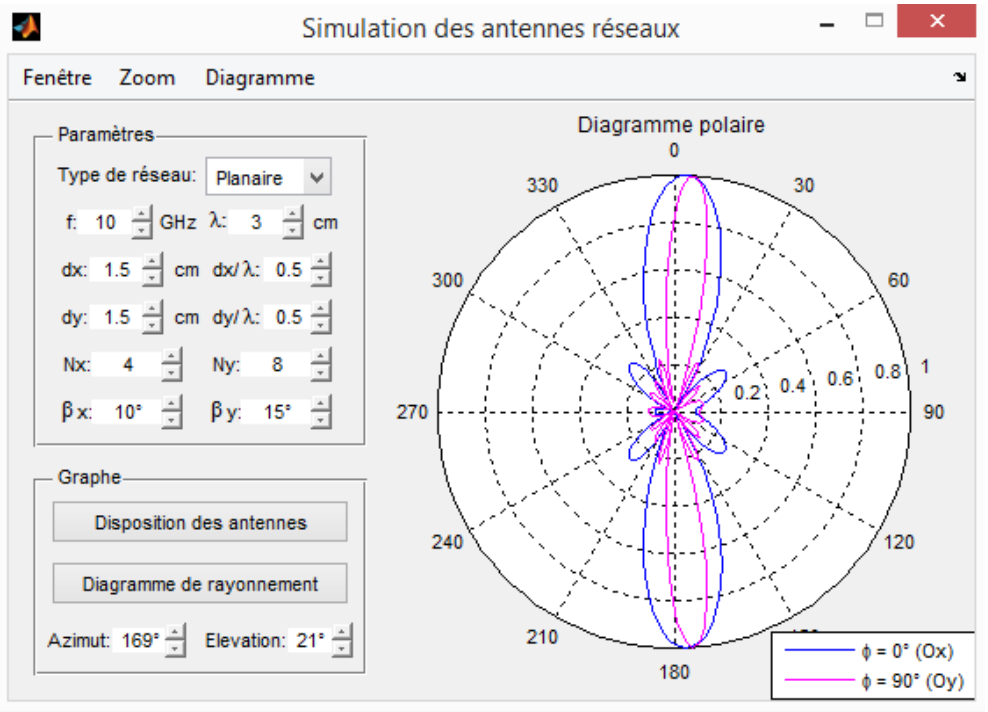


Figure 4.49: *Diagramme de rayonnement polaire avec* $Nx = 4$ *et* $Ny = 8$

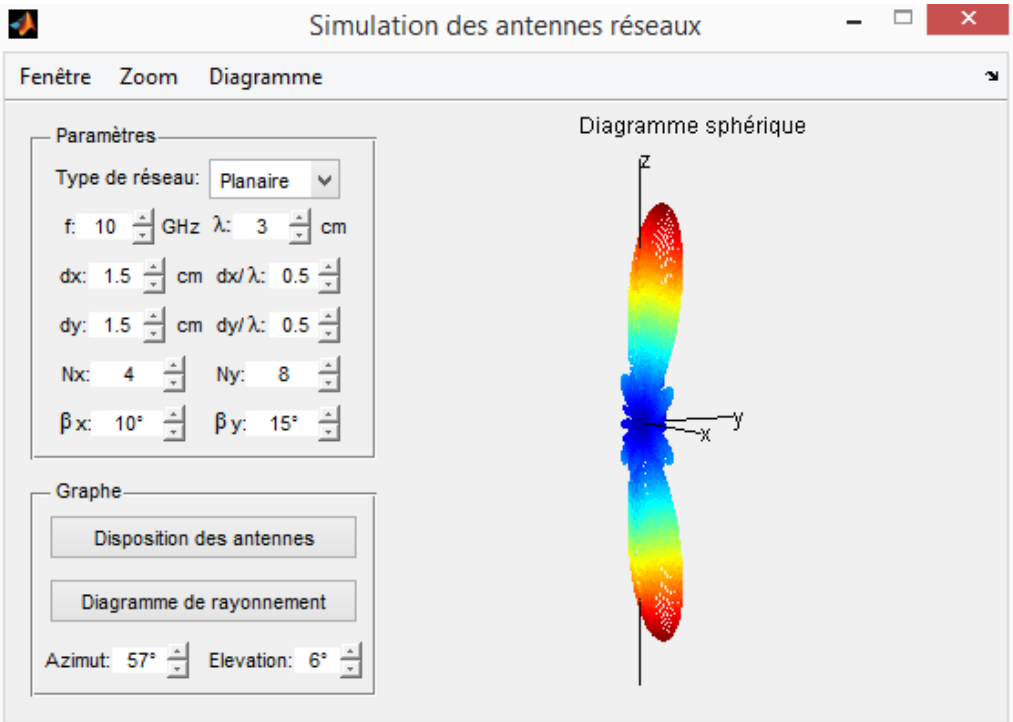


Figure 4.50: *Diagramme de rayonnement sphérique avec* $Nx = 4$ *et* $Ny = 8$

La recommandation de l'UIT en terme d'antennes adaptatives cite que le nombre d'éléments doit actuellement être comprise entre 2 et 12. Face à tous ces paramètres, nous pouvons affirmer que la proposition en géométrie et en nombre d'éléments du réseau s'avère suffisante. Or si on estime les résultats des figures ci-dessus, on trouve que l'égalité de nombre d'antenne sur le plan verticale et horizontale semble être plus importante. Tannant compte sur **la Figure 4.44** et **4.45** la constitution de lobe est bien formée sans interférence. Cela est dû par le fait que le nombre d'antennes à l'axe (Ox) et (Oy) est égal. Remarquons aussi sur la **Figure 4.48** et sur la **Figure 4.49** que vu que le nombre d'antenne sont différents sur les deux axes alors on arrive à identifier la couleur des deux lobes bâtis par les deux axes. D'où la naissance d'interférence lobaire.

4.4.3.3 Influence de βx et βy

Les paramètres en question représentent le déphasage progressif toute au long de la ligne. Par conséquent nous allons les faire varier pour voir ce qu'elles donnent comme résultats. Commençons par le cas où βx et βy sont égaux.

Avec βx=βy=30

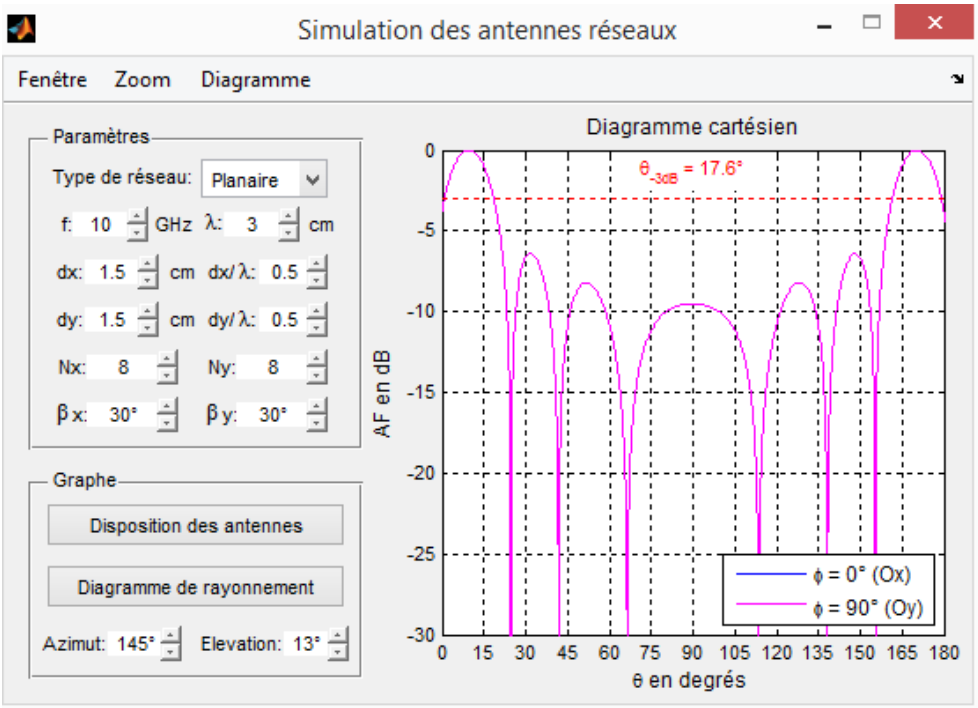


Figure 4.51: *Diagramme de rayonnement cartésien avec* βx = 30 et βy = 30

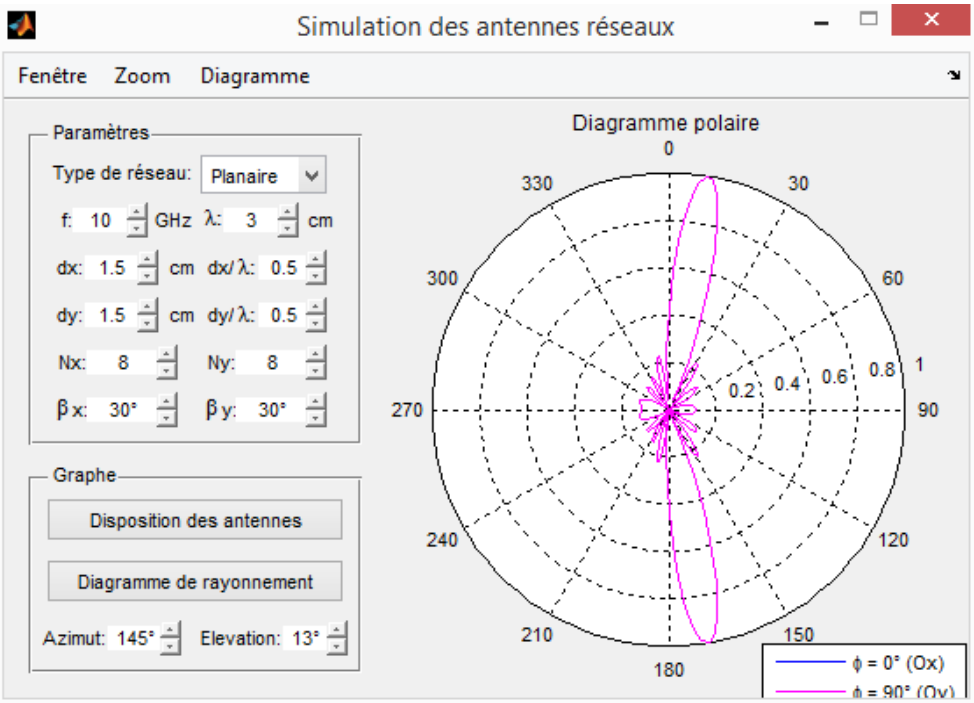


Figure 4.52: *Diagramme de rayonnement polaire avec* $\beta x = 30$ et $\beta y = 30$

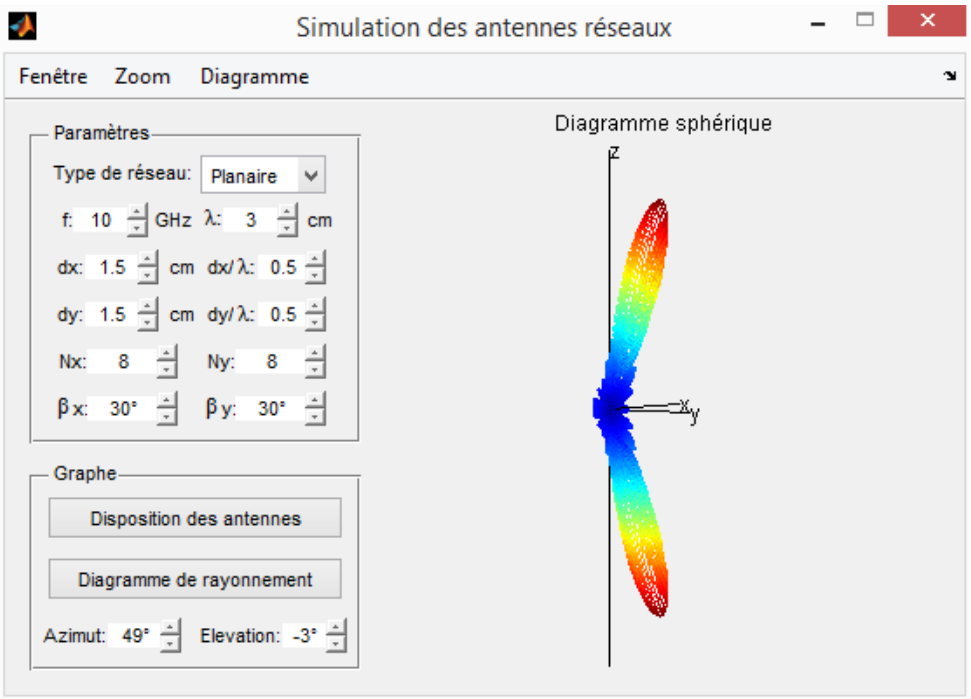


Figure 4.53: *Diagramme de rayonnement sphérique avec* $\beta x = 30$ et $\beta y = 30$

Avec βx=βy=90

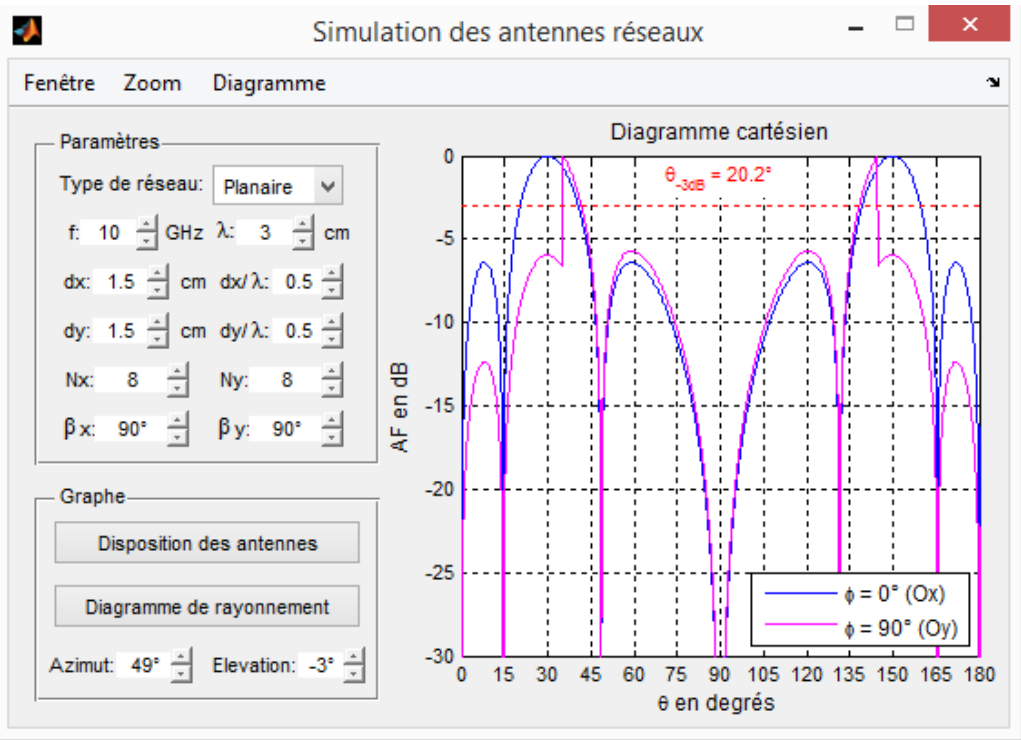


Figure 4.54: *Diagramme de rayonnement cartésien avec* βx = 90 et βy = 90

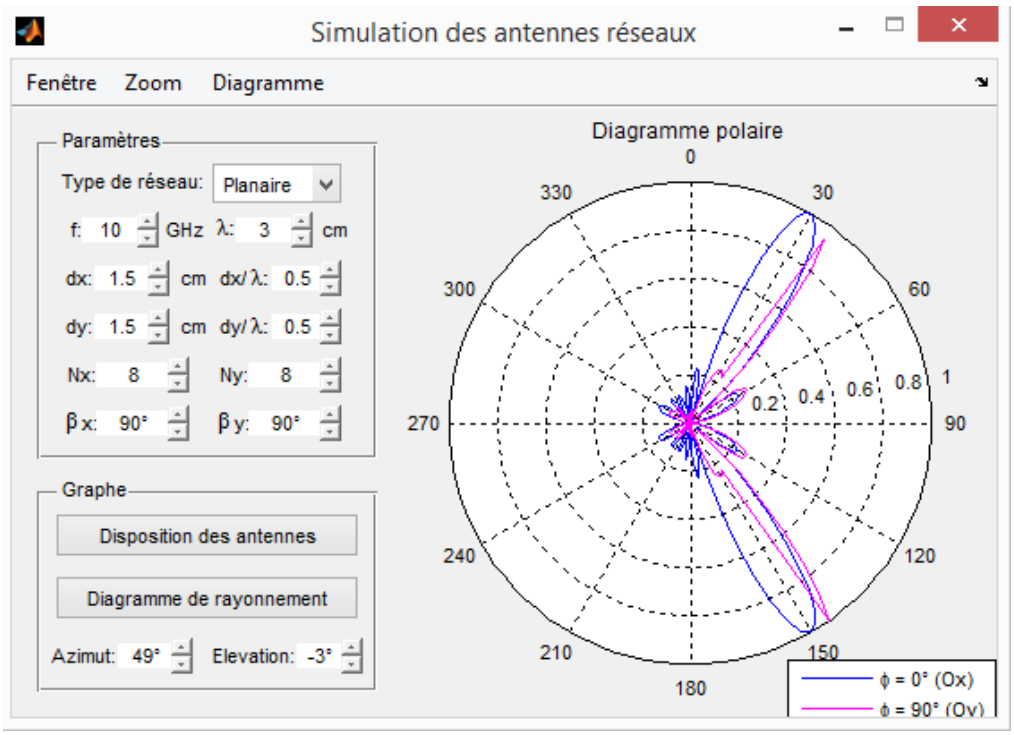


Figure 4.55: *Diagramme de rayonnement polaire avec* βx = 90 et βy = 90

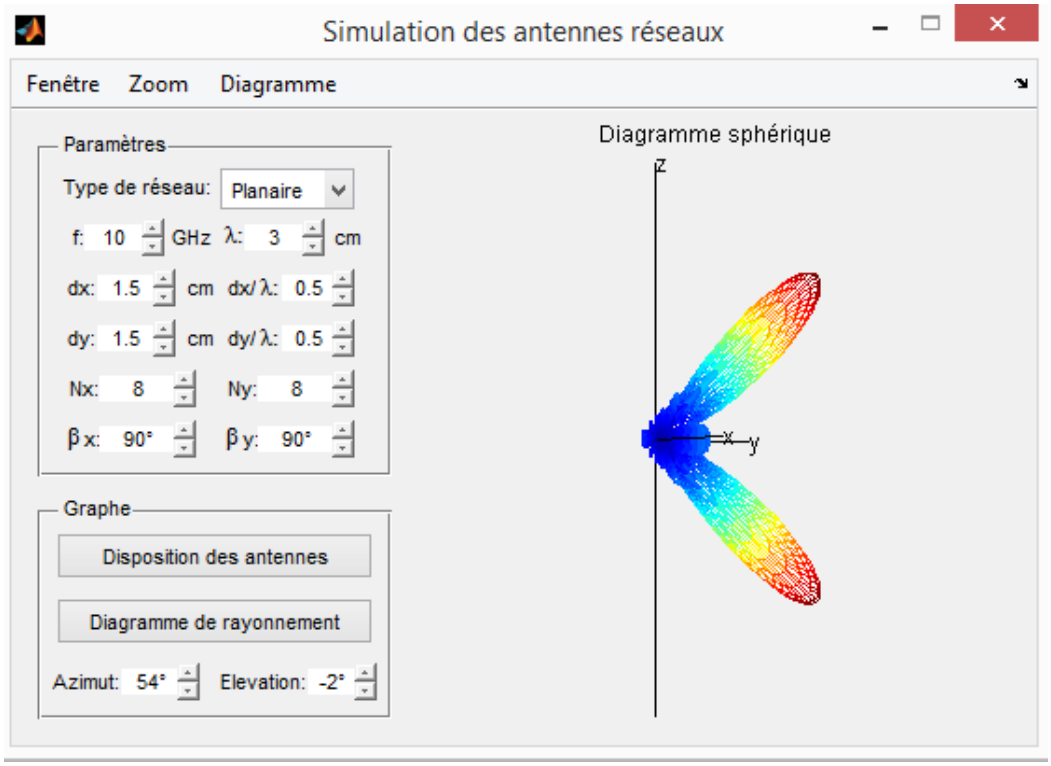


Figure 4.56: *Diagramme de rayonnement sphérique avec* $\beta x = 90$ et $\beta y = 90$

Avec βx=30 et βy=90

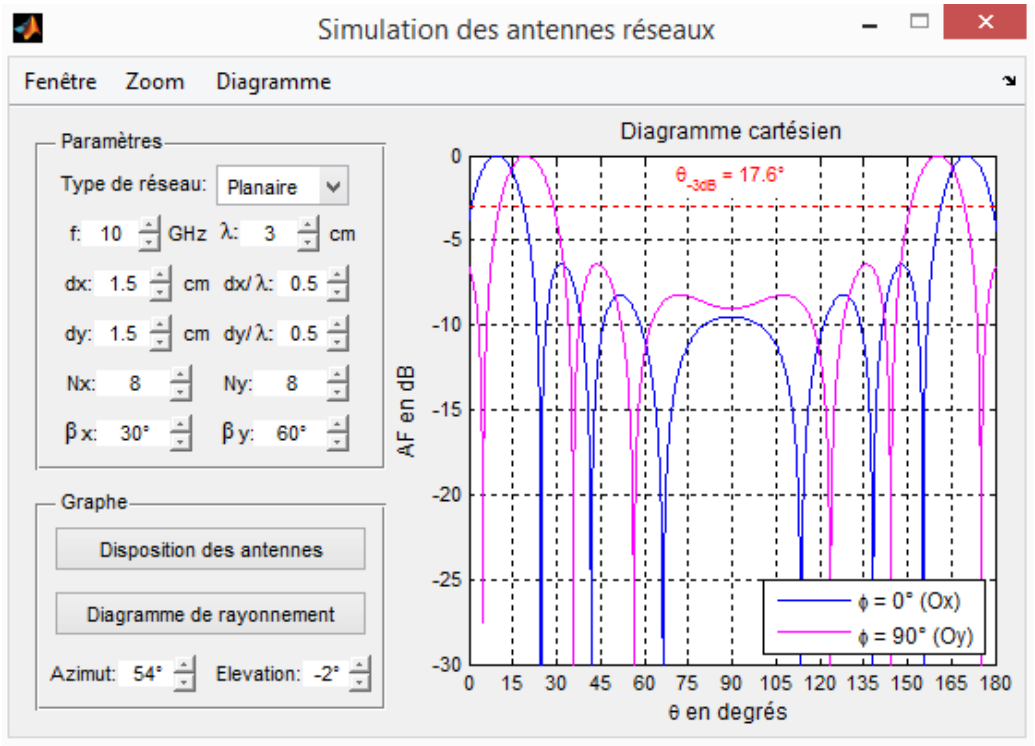


Figure 4.57: *Diagramme de rayonnement cartésien avec* $\beta x = 30$ et $\beta y = 60$

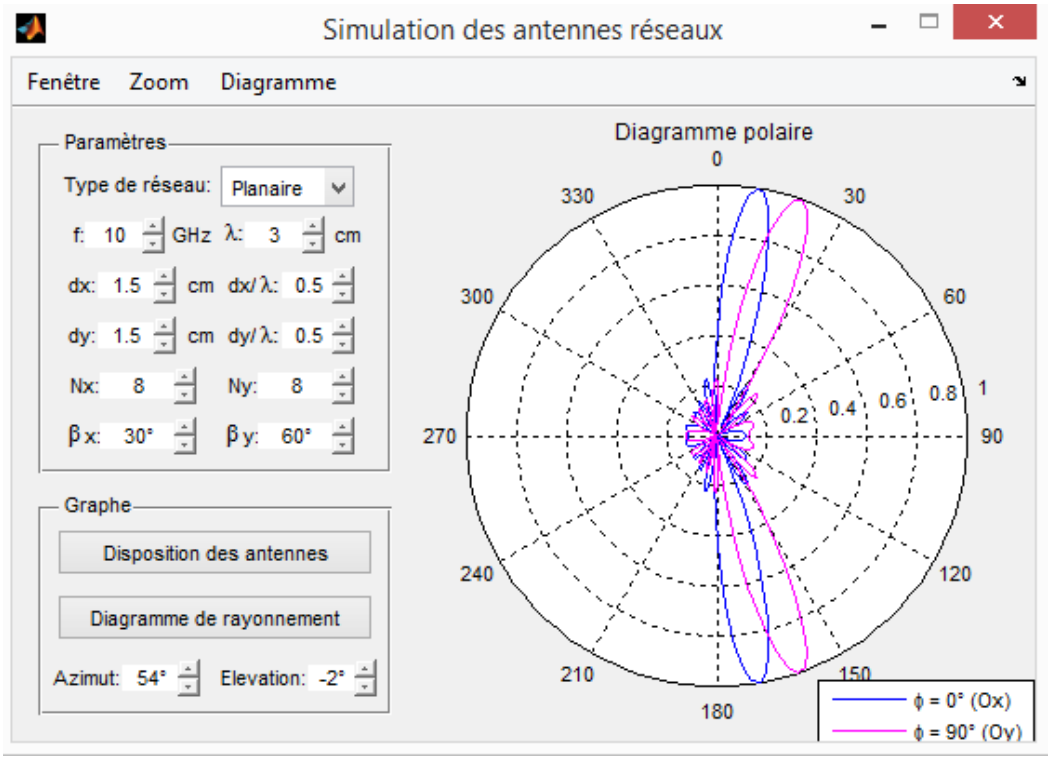


Figure 4.58: *Diagramme de rayonnement polaire avec* $\beta x = 30$ et $\beta y = 60$

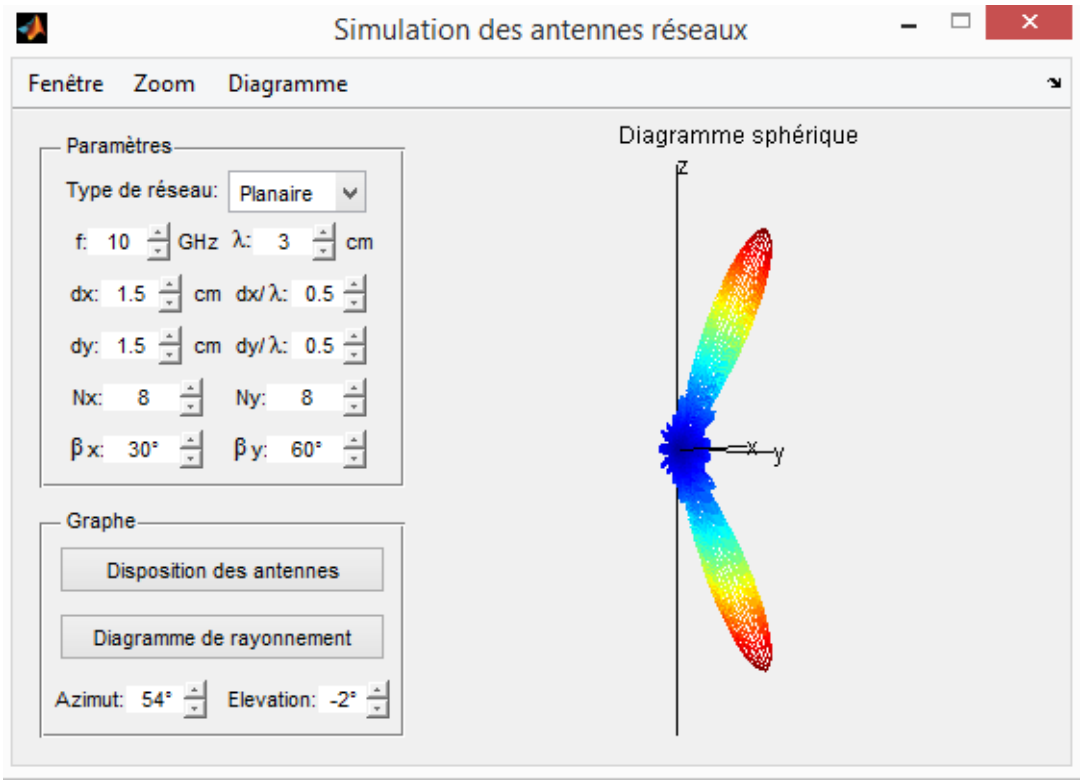


Figure 4.59: *Diagramme de rayonnement sphérique avec* $\beta x = 30$ et $\beta y = 60$

D'après les résultats qu'on vient d'obtenir, la **Figure 4.54,** la **Figure 4.55** et la **Figure 4.56** nous montrent que l'égalité de βx et βy ne donne pas forcément un bon dégagement lobaire. En jetant un coup d'œil sur la **Figure 4.51 et 4.52** on aperçoit que la couleur de lobe est identique (la couleur rose). Tandis qu'à la **Figure 4.54 et 4.55** la distinction des deux couleurs est clairement établie. Dans un cas où ces deux paramètres sont différents, une interférence lobaire apparait toujours la preuve en est la **Figure 4.57,** la **Figure 4.58** et la **Figure 4.59.**

4.4.4 Résultats avec le réseau circulaire

Le troisième type de réseau d'antenne dépend des paramètres aussi déjà mentionné sur le **Tableau 4.01.**

4.4.4.1 Influence de a/λ

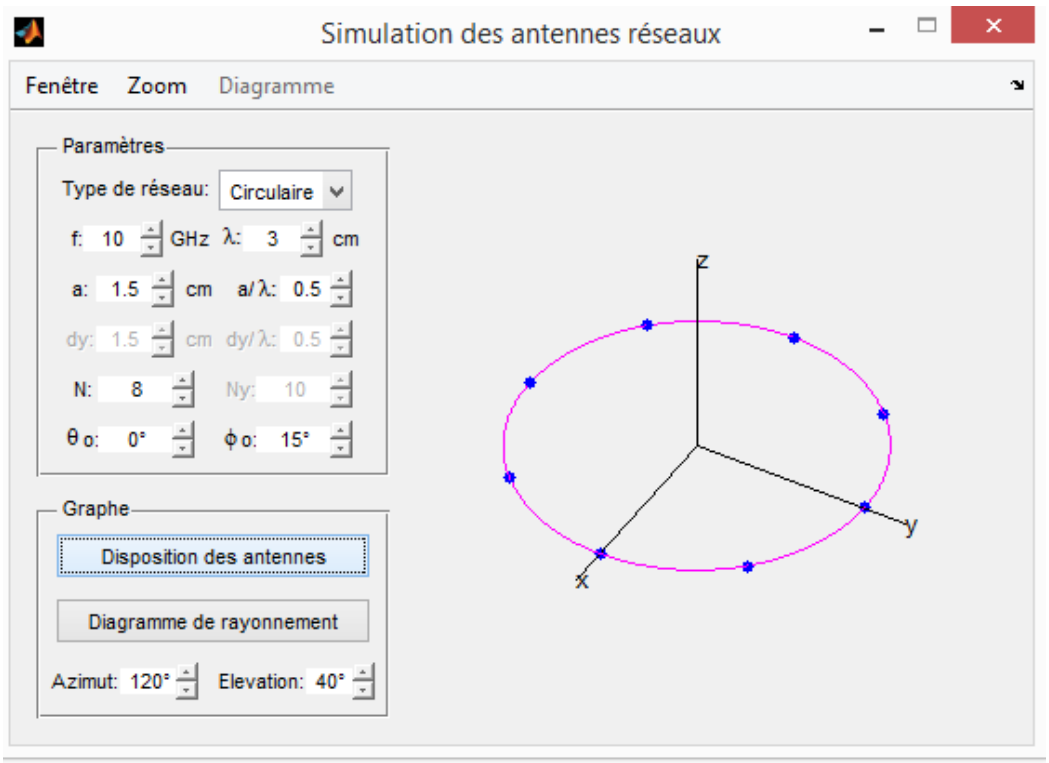


Figure 4.60 : *Disposition des antennes avec* $a/\lambda = 0.5$

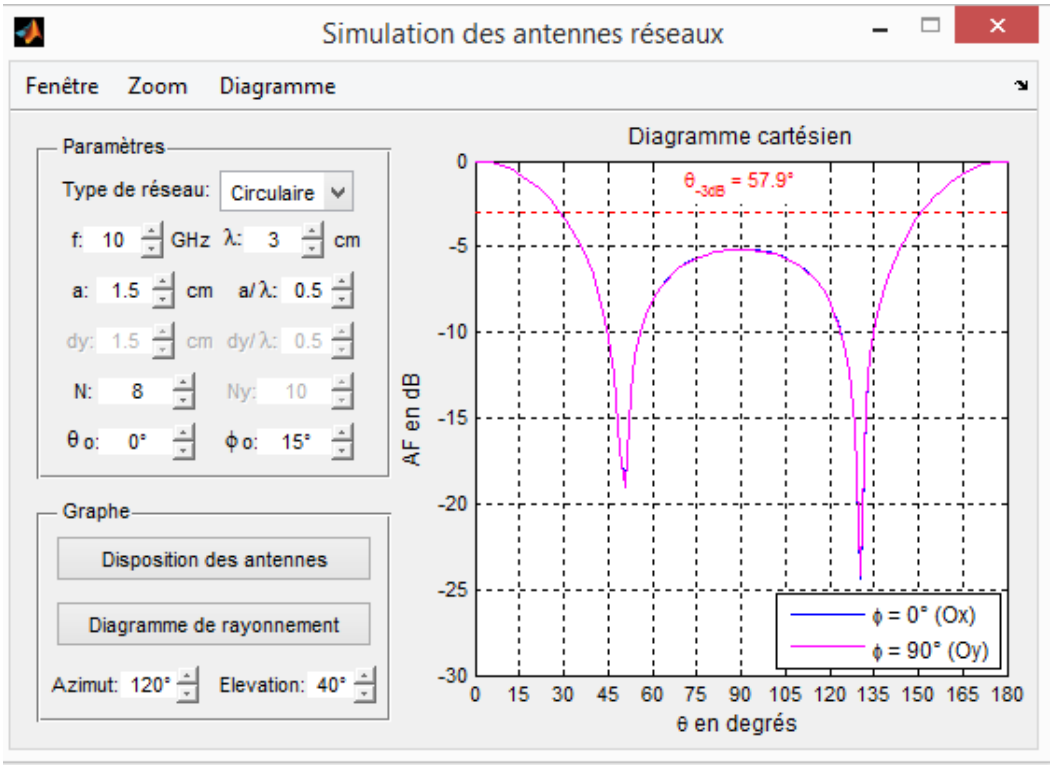


Figure 4.61: *Diagramme de rayonnement cartésien avec* $a/\lambda = 0.5$

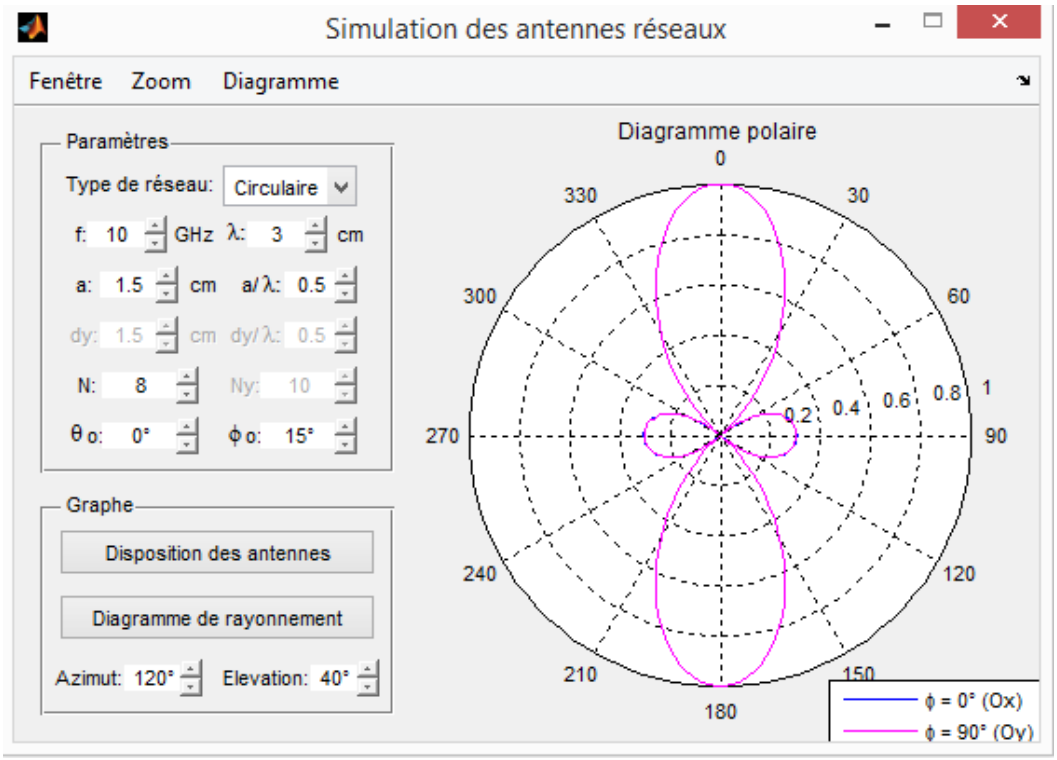


Figure 4.62: *Diagramme de rayonnement polaire avec* $a/\lambda = 0.5$

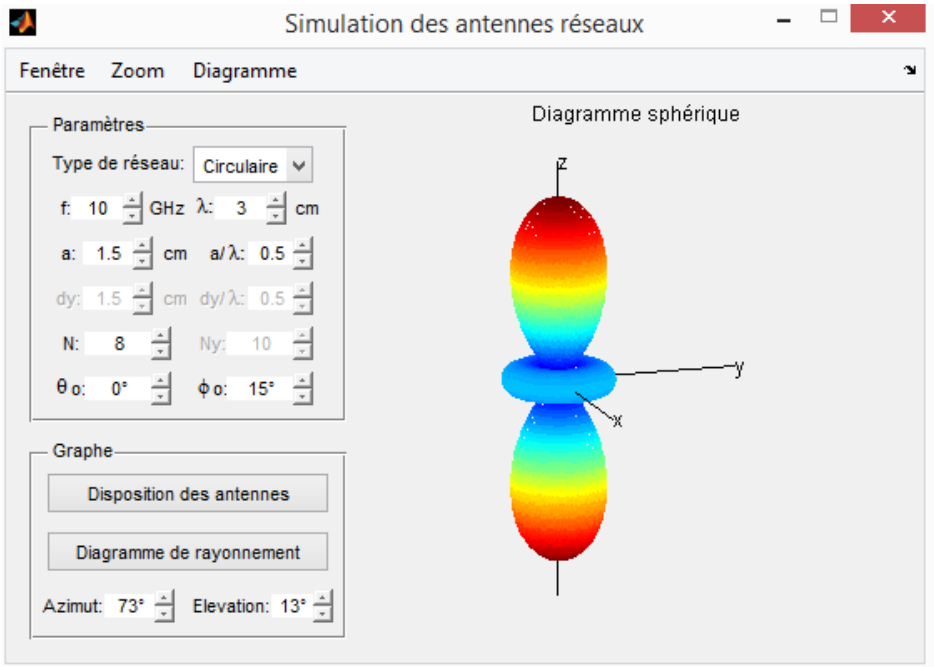


Figure 4.63: *Diagramme de rayonnement sphérique avec* $a/\lambda = 0.5$

Avec *avec* $a/\lambda = 1$

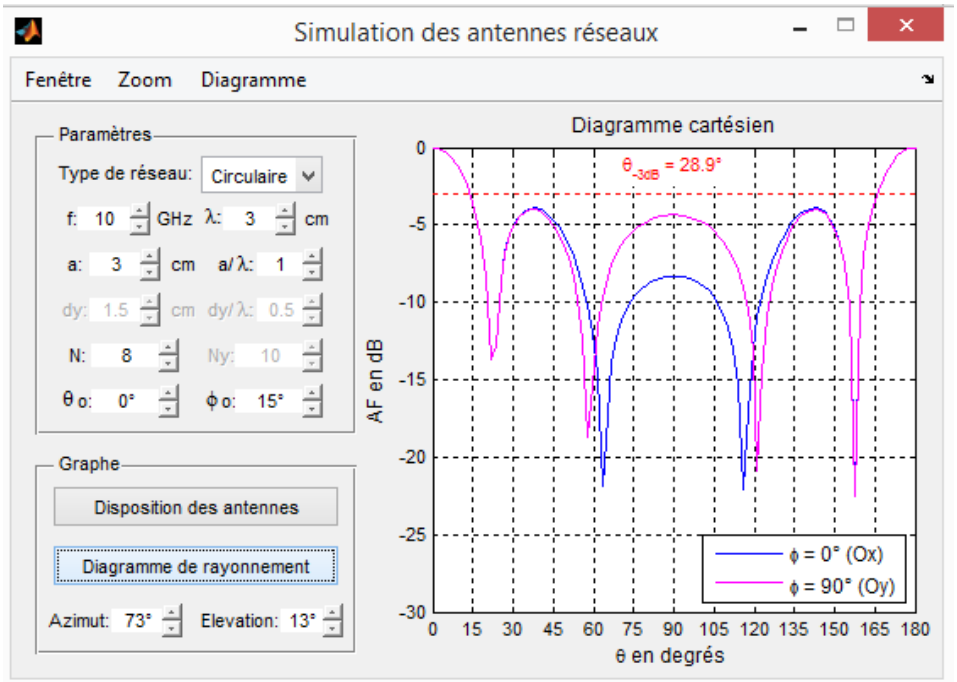


Figure 4.64: *Diagramme de rayonnement cartésien avec* $a/\lambda = 1$

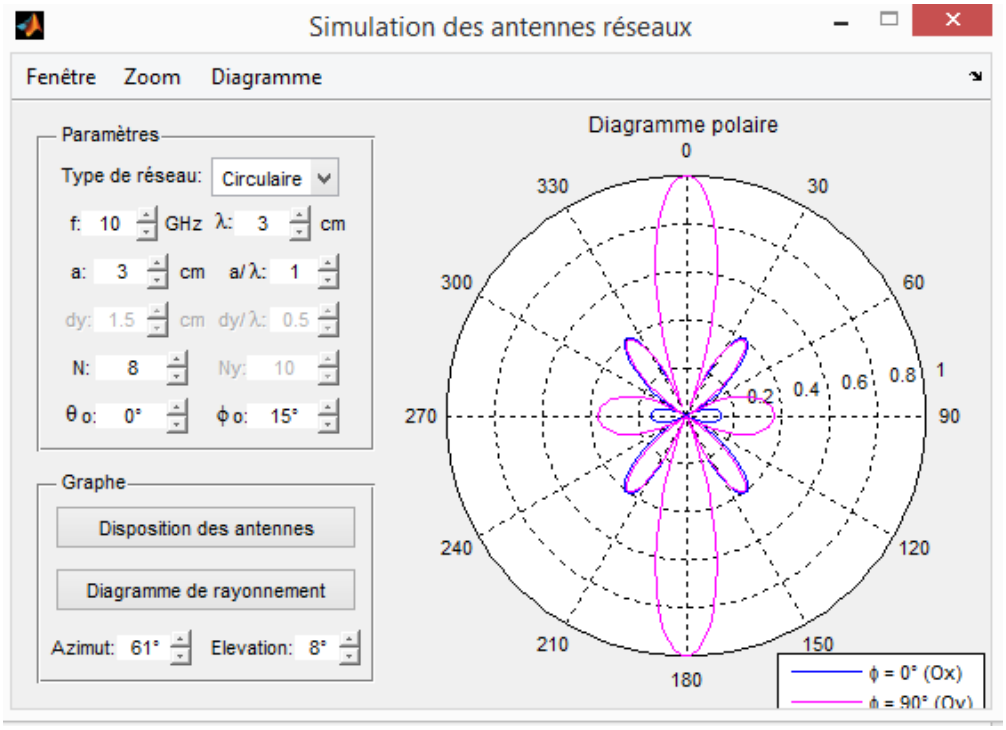


Figure 4.65: *Diagramme de rayonnement polaire avec* $a/\lambda = 1$

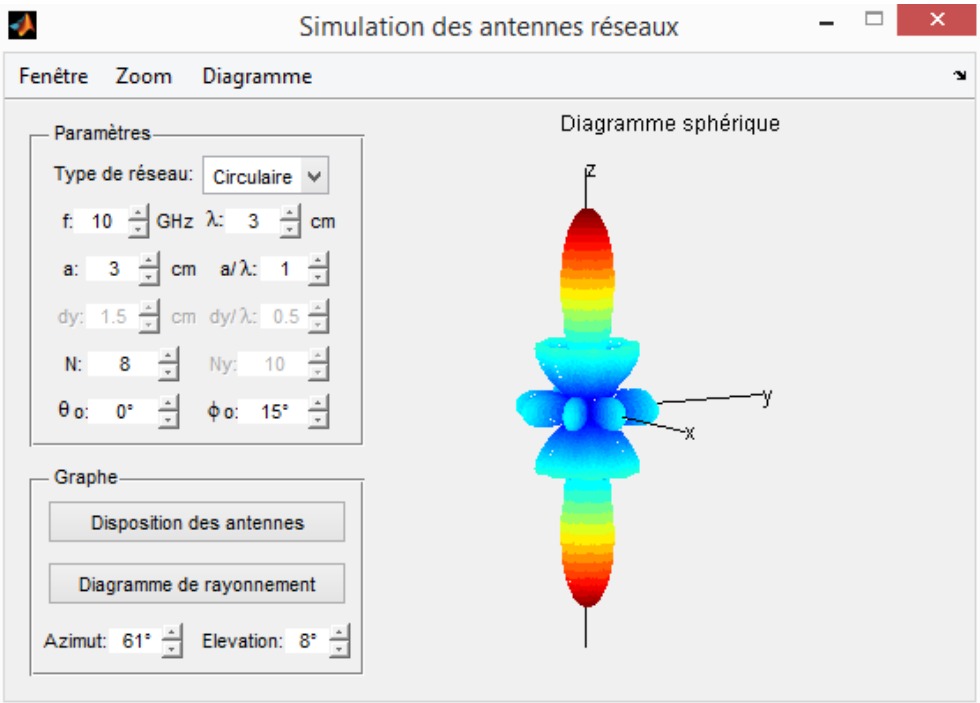


Figure 4.66 : *Diagramme de rayonnement sphérique avec* $a/\lambda = 1$

Avec $a/\lambda = 0.25$

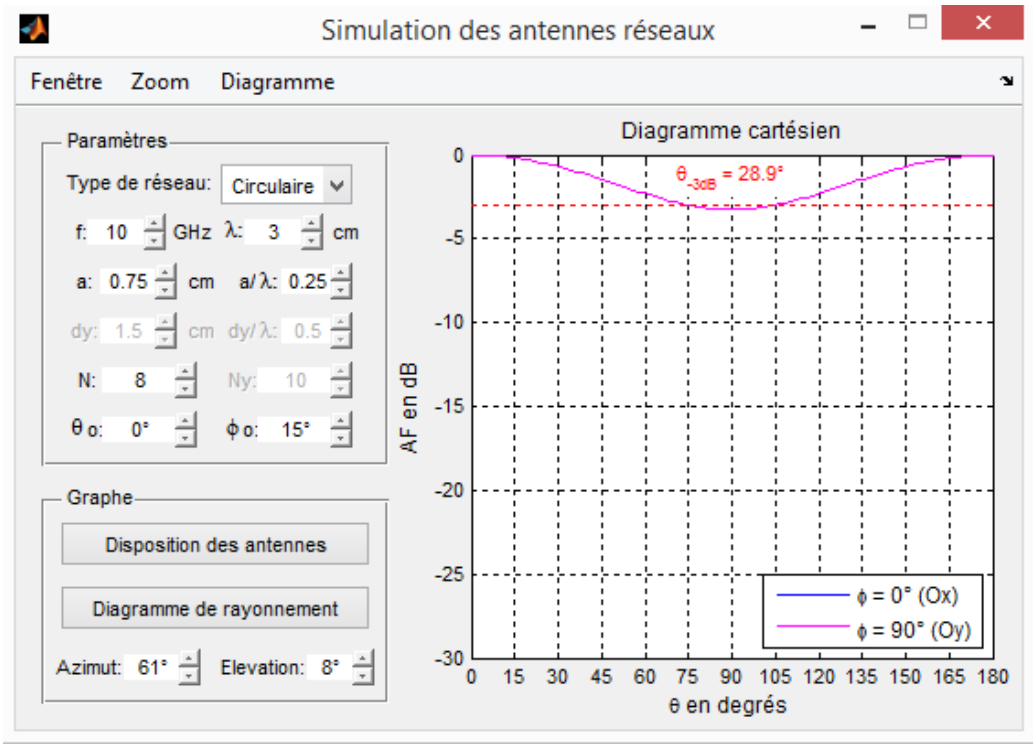


Figure 4.67: *Diagramme de rayonnement cartésien avec* $a/\lambda = 0.25$

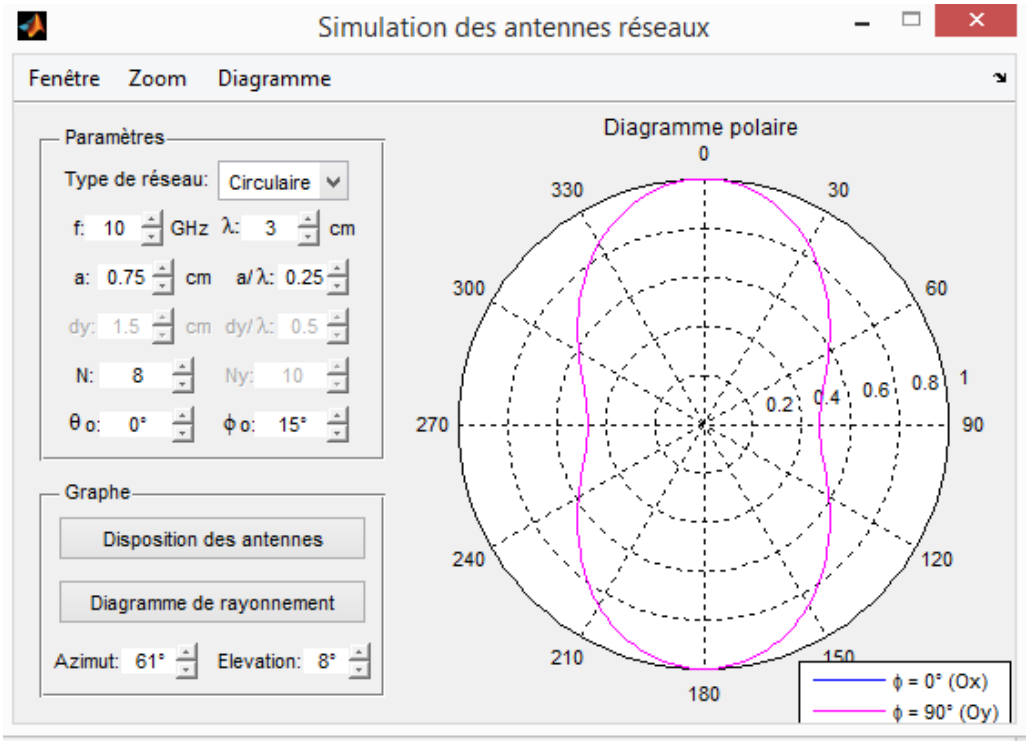


Figure 4.68: *Diagramme de rayonnement polaire avec* $a/\lambda = 0.25$

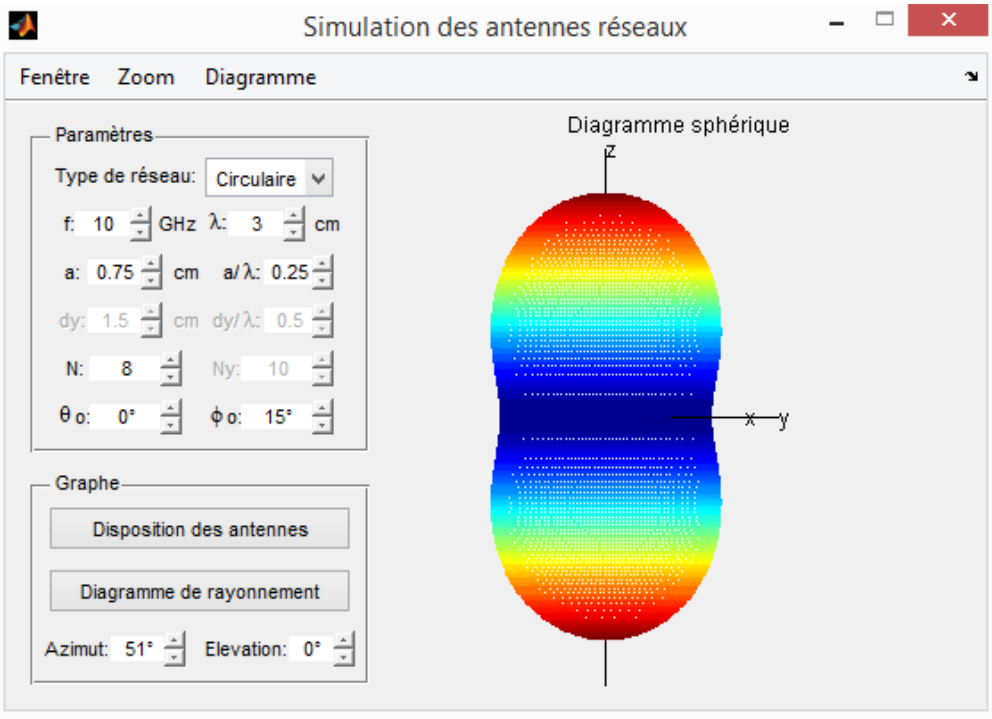


Figure 4.69 : *Diagramme de rayonnement sphérique avec* $a/\lambda = 0.25$

Les différentes figures ci-dessus nous mènent au commentaire. La **Figure 4.61**, la **Figure 4.62 et *la* Figure 4.63** évoquent que le paramètre choisi est logique. Cette dernière s'explique sur le fait que les lobes sont bien dégagés. Mais lorsqu'on s'intéresse aussi à la **Figure 4.64**, la **Figure 4.65 et la Figure 4.66** on voit nettement la masse de lobe secondaire et on arrive ainsi à distinguer les deux couleurs qui représentent les lobes. En effet le paramètre choisi n'est pas le bon. Sur le cas où a/λ est inférieure à 0.5 le lobe se tend vers un lobe omnidirectionnel et la **Figure 4.67**, la **Figure 4.68** et la **Figure 4.69** nous l'attestent.

4.4.4.2 Influence de N

Considérons les antennes de même polarisation et qui sont distribuées selon la configuration circulaire suivante. Prenons en premier N=2

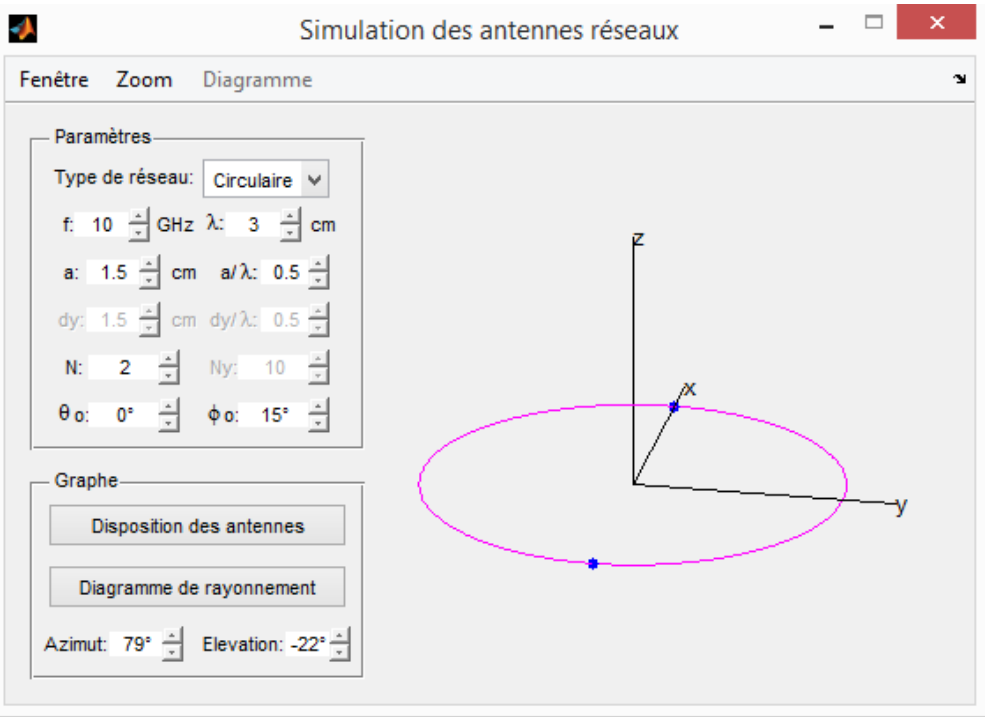


Figure 4.70 : *Disposition des antennes avec* $N = 2$

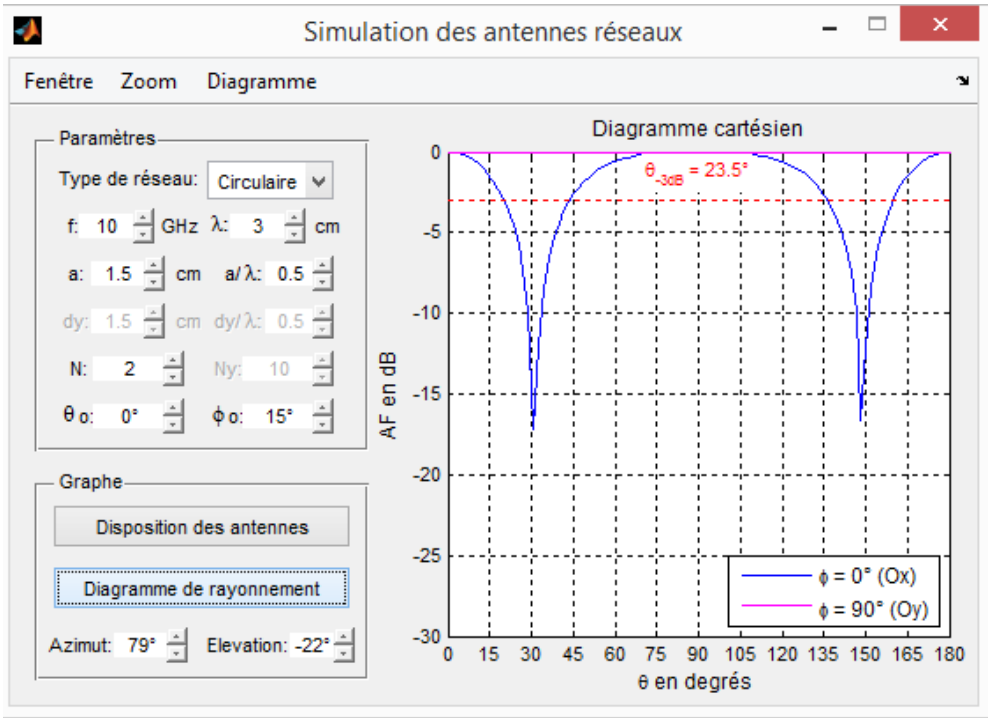


Figure 4.71: *Diagramme de rayonnement cartésien avec N=2*

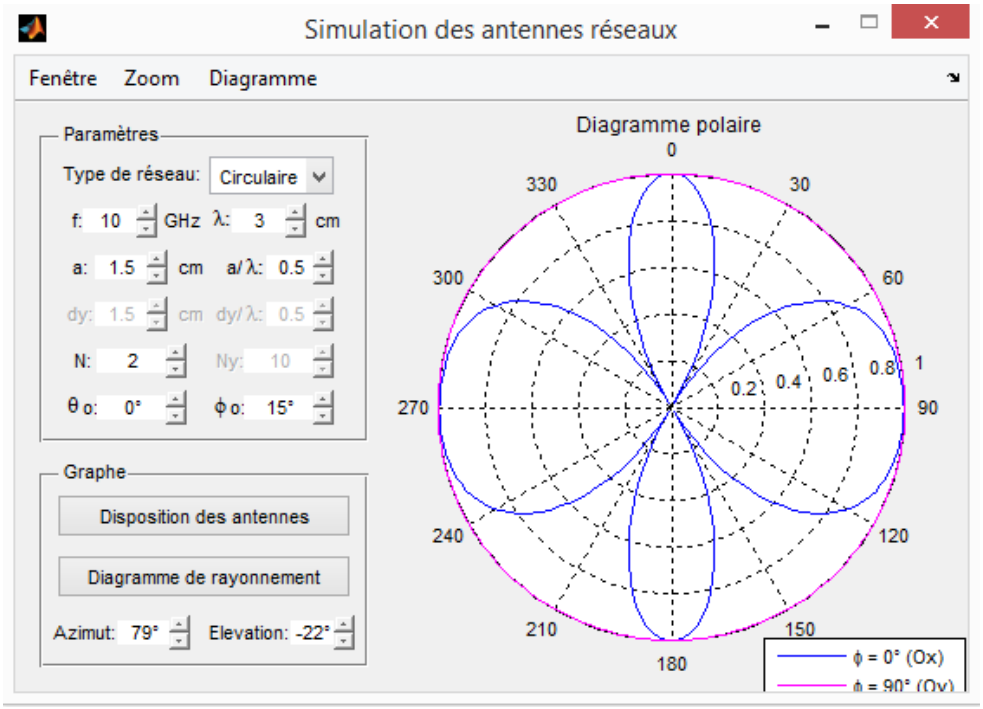


Figure 4.72: *Diagramme de rayonnement polaire avec* $N = 2$

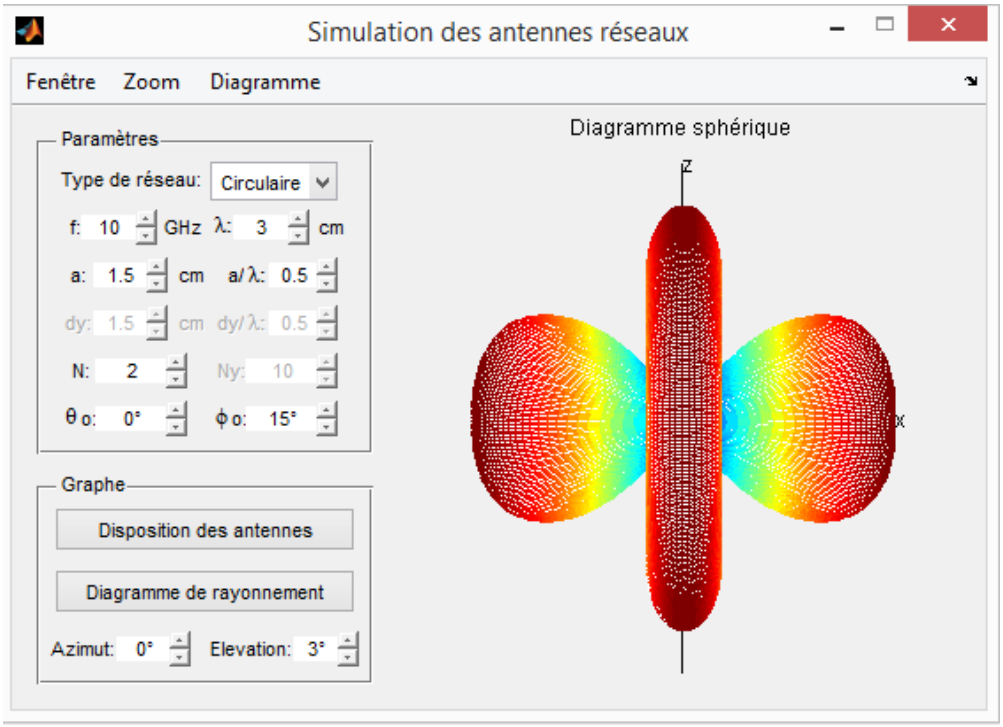


Figure 4.73 : *Diagramme de rayonnement sphérique avec* $N = 2$

Avec N=6

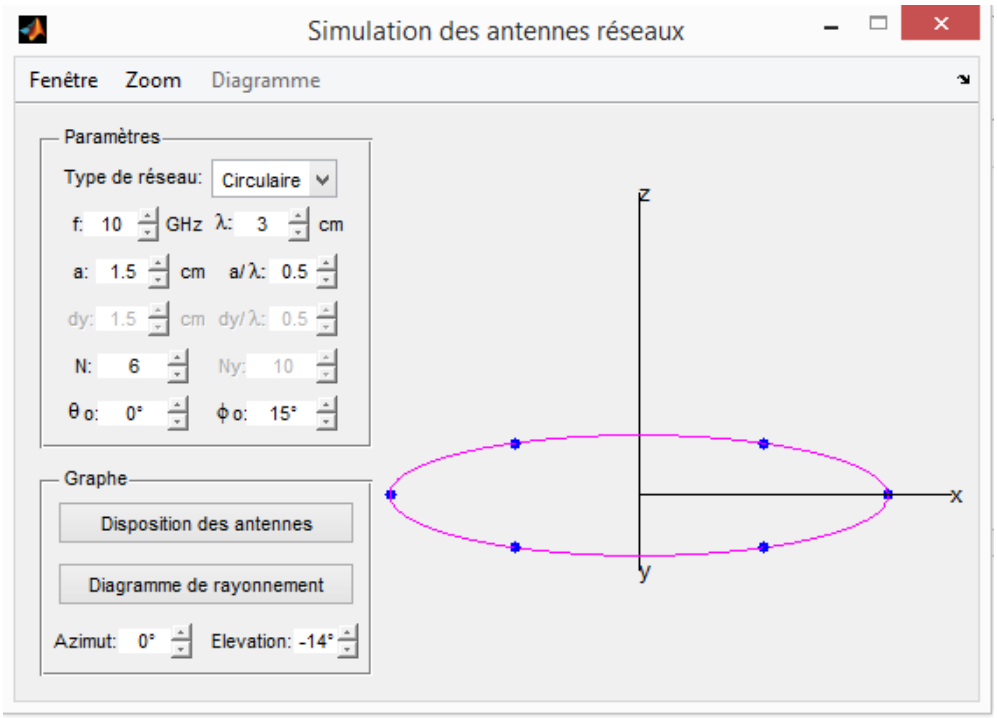


Figure 4.74: *Disposition des antennes avec $N = 6$*

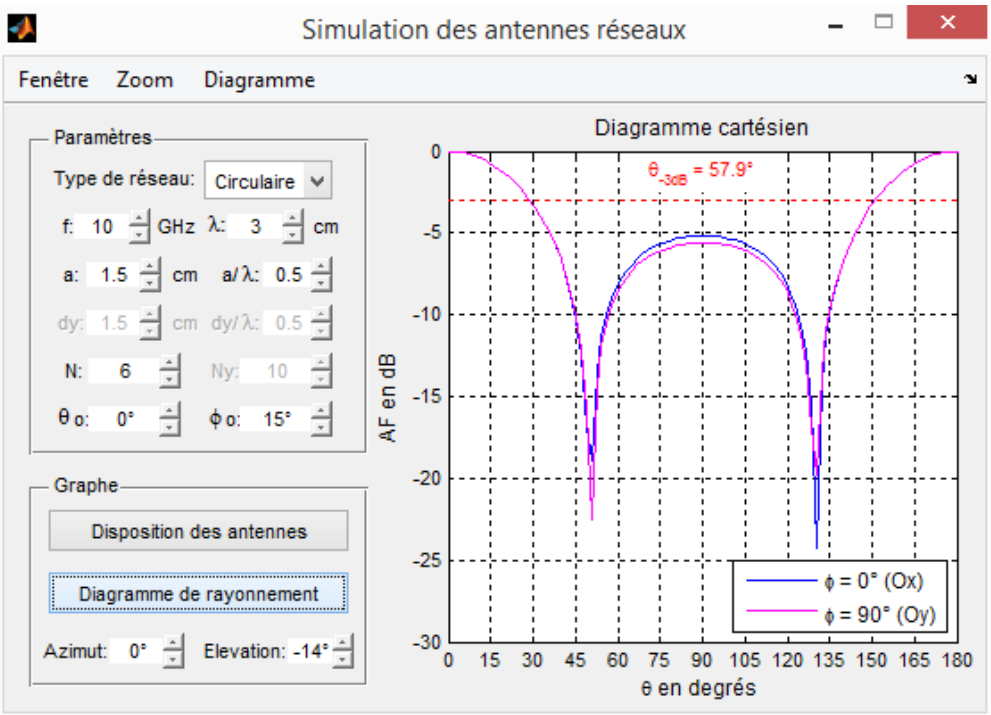


Figure 4.75: *Diagramme de rayonnement cartésien avec N=6*

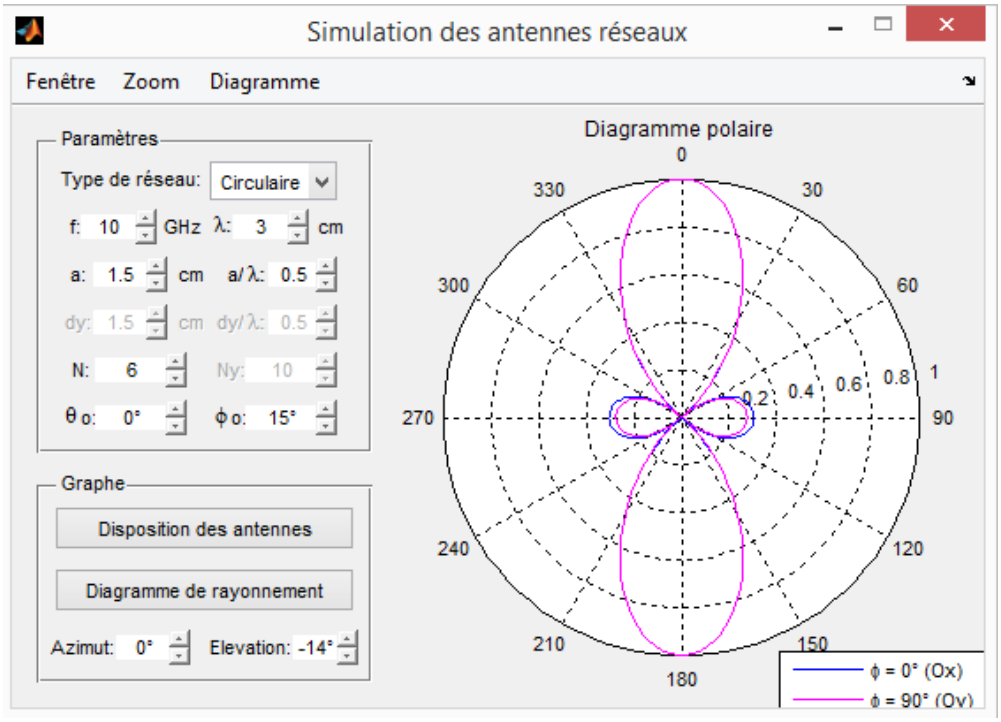


Figure 4.76: *Diagramme de rayonnement polaire avec* $N = 6$

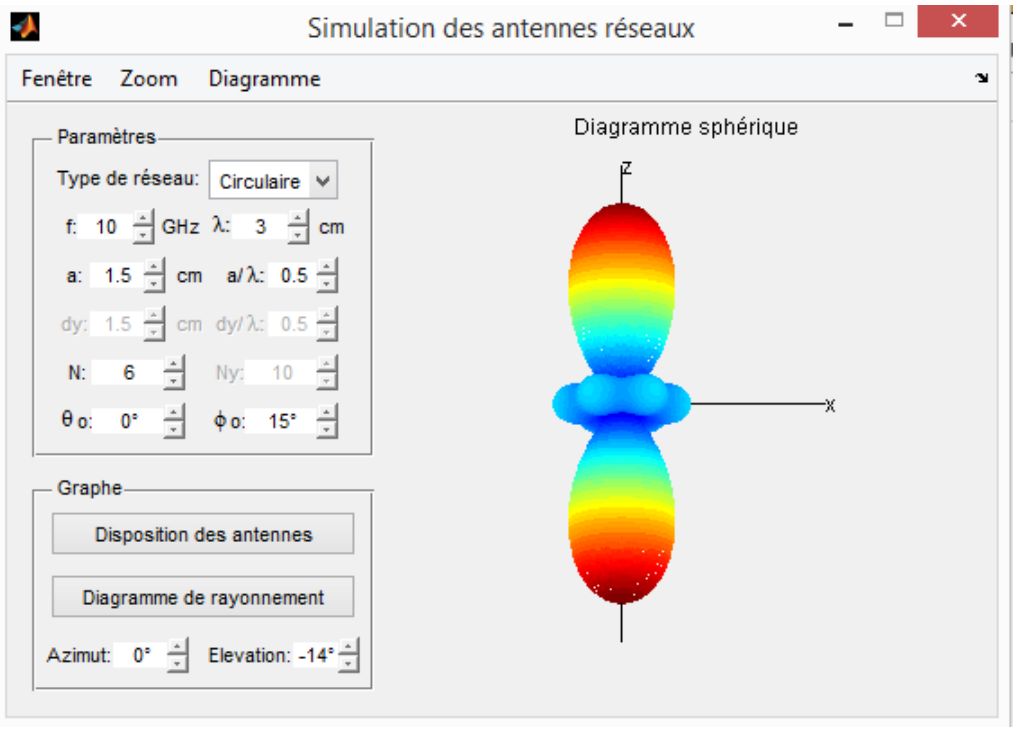


Figure 4.77 : *Diagramme de rayonnement sphérique avec* $N = 6$

Avec N=8

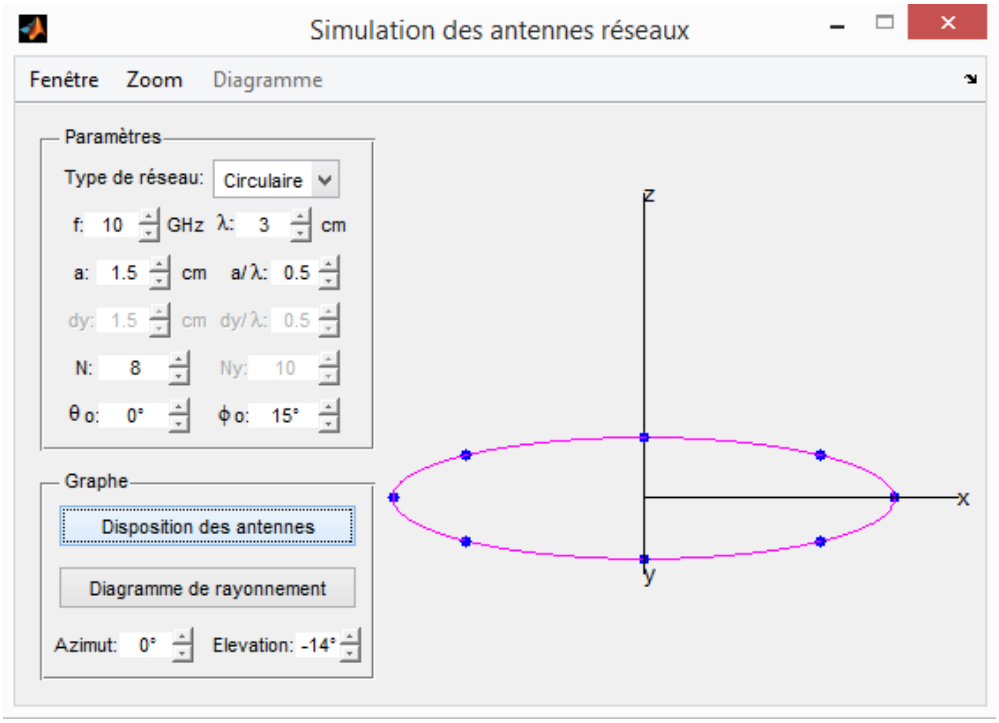


Figure 4.78: *Disposition des antennes avec* $N = 8$

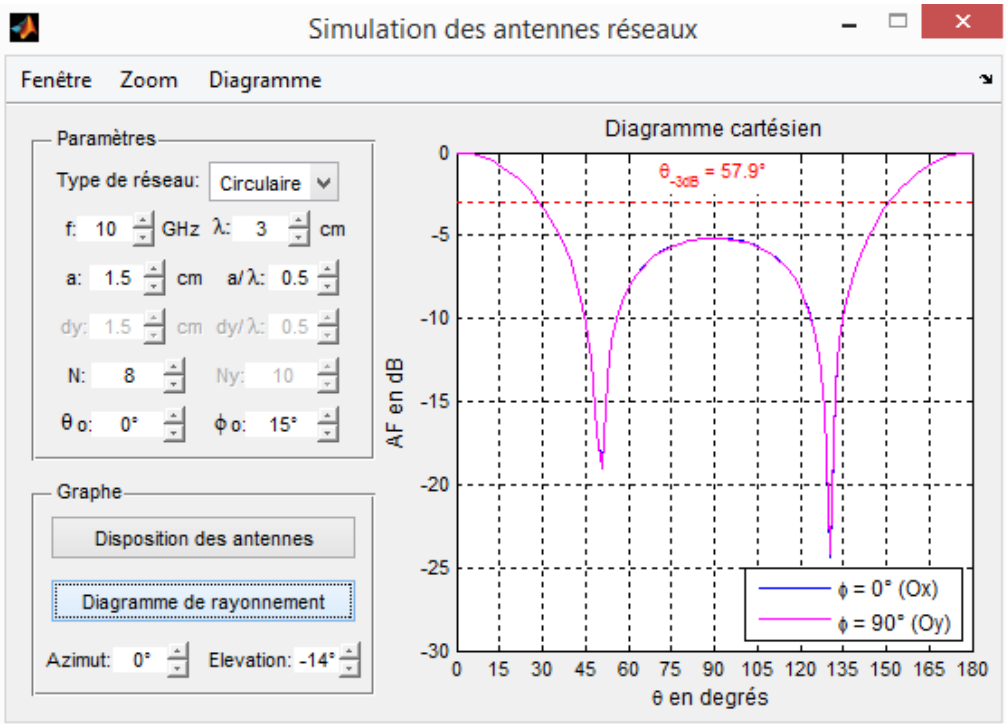


Figure 4.79: *Diagramme de rayonnement cartésien avec N=8*

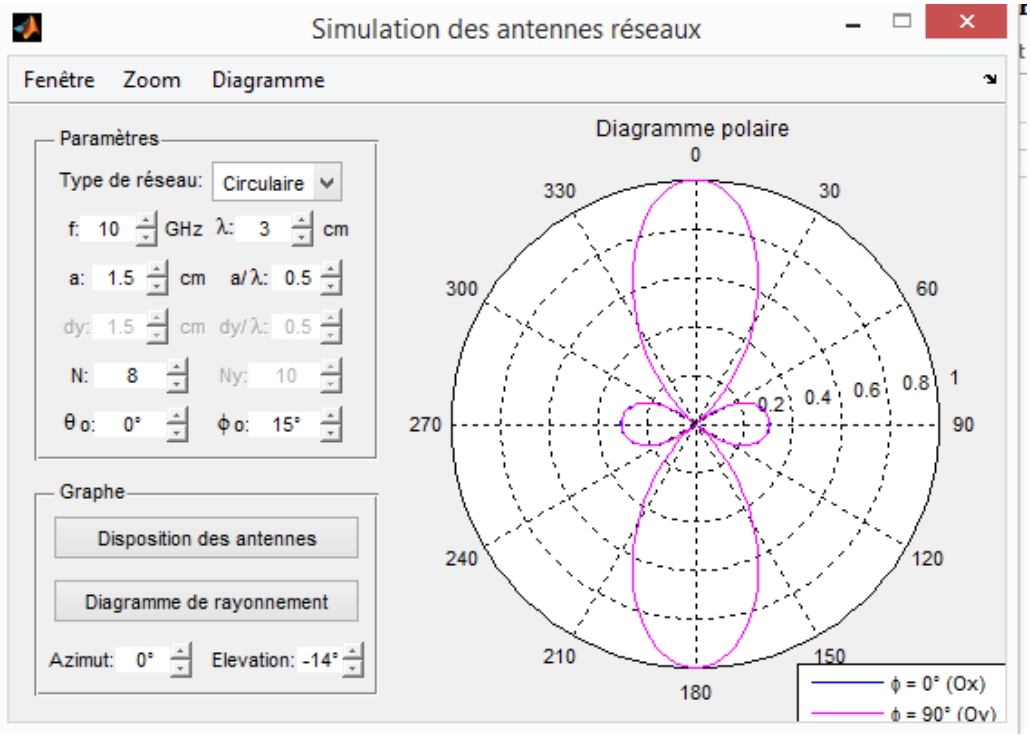


Figure 4.80: *Diagramme de rayonnement polaire avec* $N = 8$

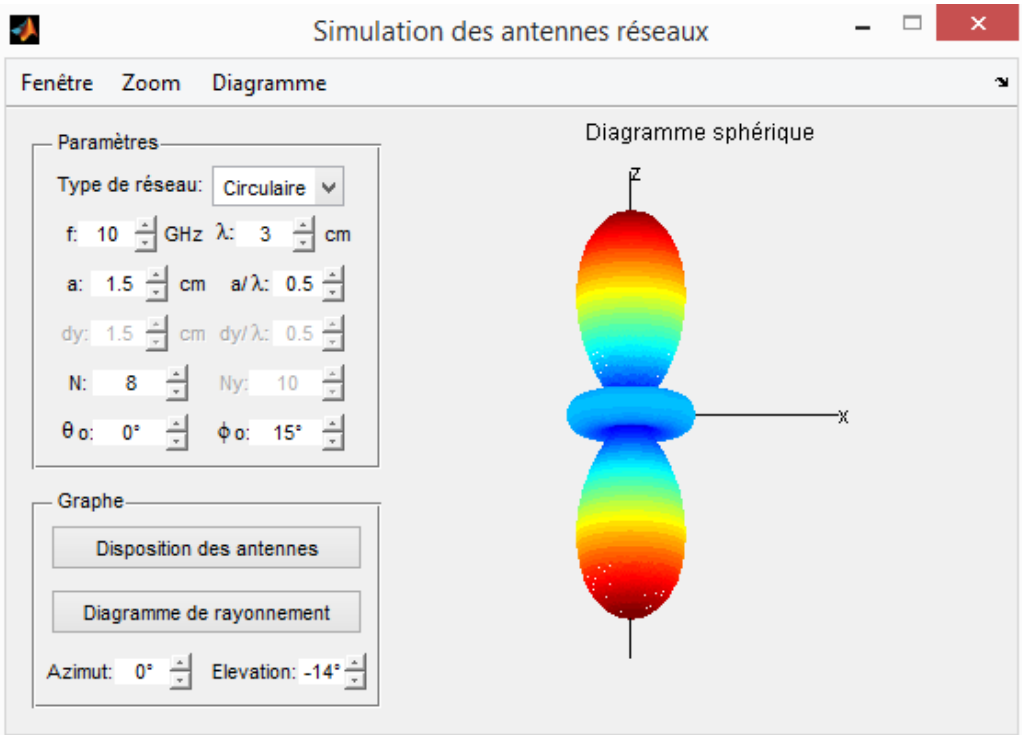


Figure 4.81 : *Diagramme de rayonnement sphérique avec* $N = 8$

Il a été remarqué lors de l'augmentation du nombre des antennes, que les diagrammes de rayonnement sont caractérisés par un lobe principal plus directif et des lobes de rayonnement secondaires réduits telles que montrent la **Figure 4.73** ; la **Figure 4.77** et la **Figure 4.81.** On peut penser, lorsqu'on désire établir une relation directionnelle entre l'émetteur et le récepteur, il faut que la direction de rayonnement maximal coïncide avec cette direction. Il est donc nécessaire d'affiner le lobe de rayonnement principal par l'augmentation du nombre d'antennes et réduire au minimum le niveau des lobes de rayonnement secondaires.

4.4.5 Influence de θo et ϕo

Ces deux paramètres représentent les angles que forme l'antenne par rapport à l'axe (Ox) et (Oz). Nous allons débuter par fixer le paramètre θo et faire varier le ϕo.

Prenons θo=3 et ϕo=25

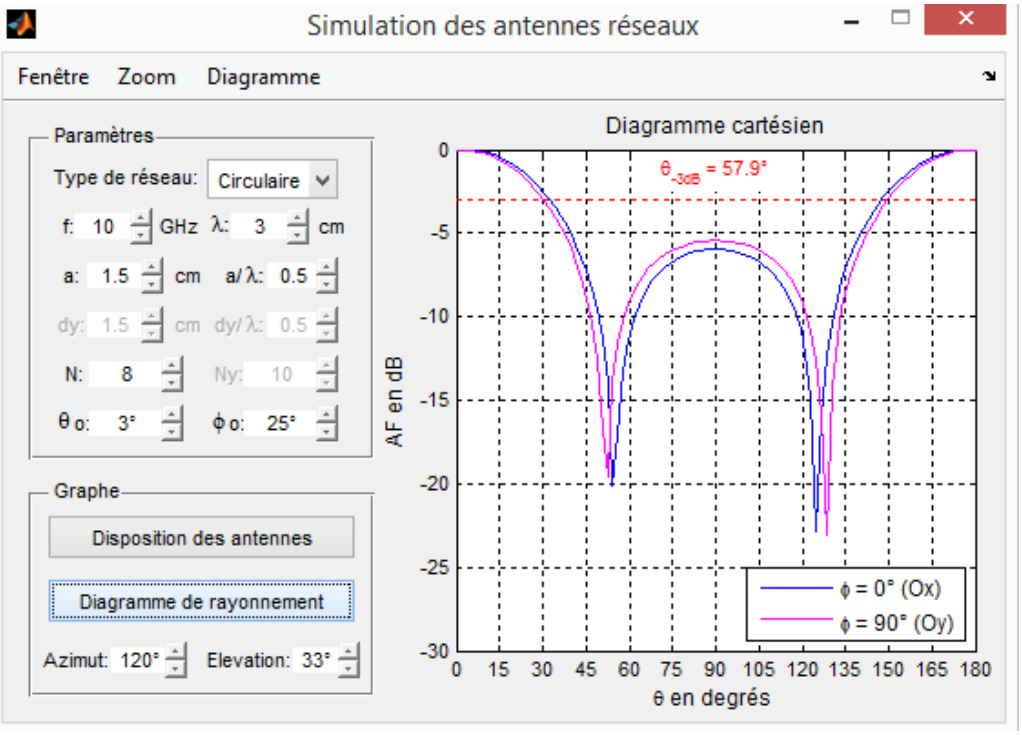


Figure 4.82: *Diagramme de rayonnement cartésien avec* θo=3 et ϕo=25

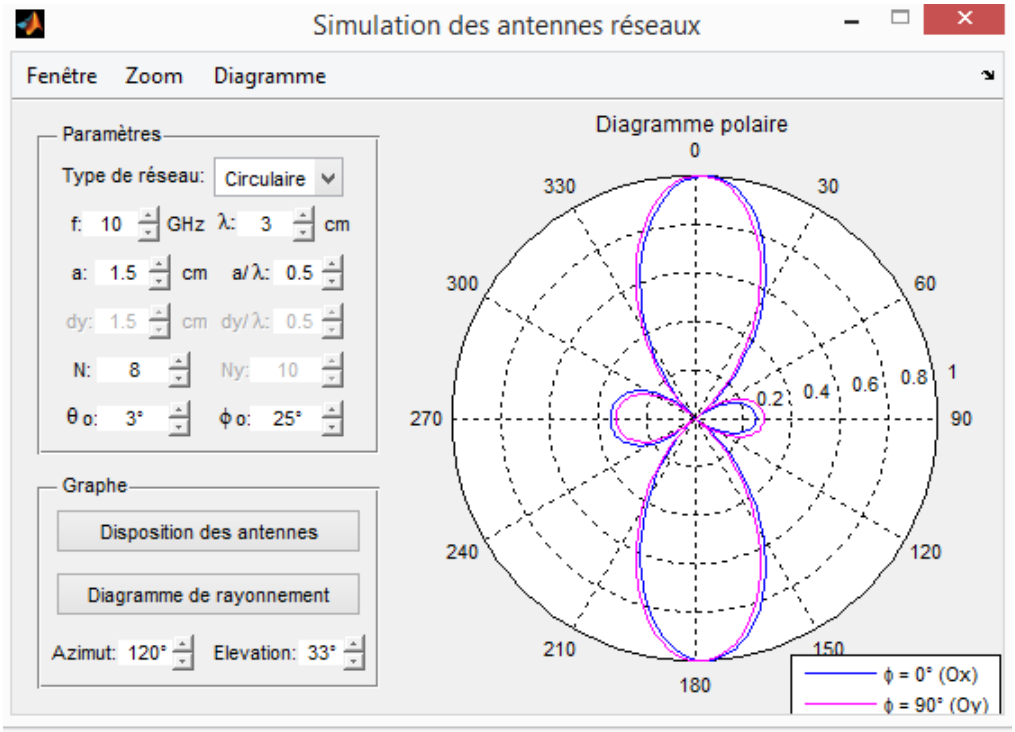


Figure 4.83: *Diagramme de rayonnement polaire avec* θo=3 et ϕo=25

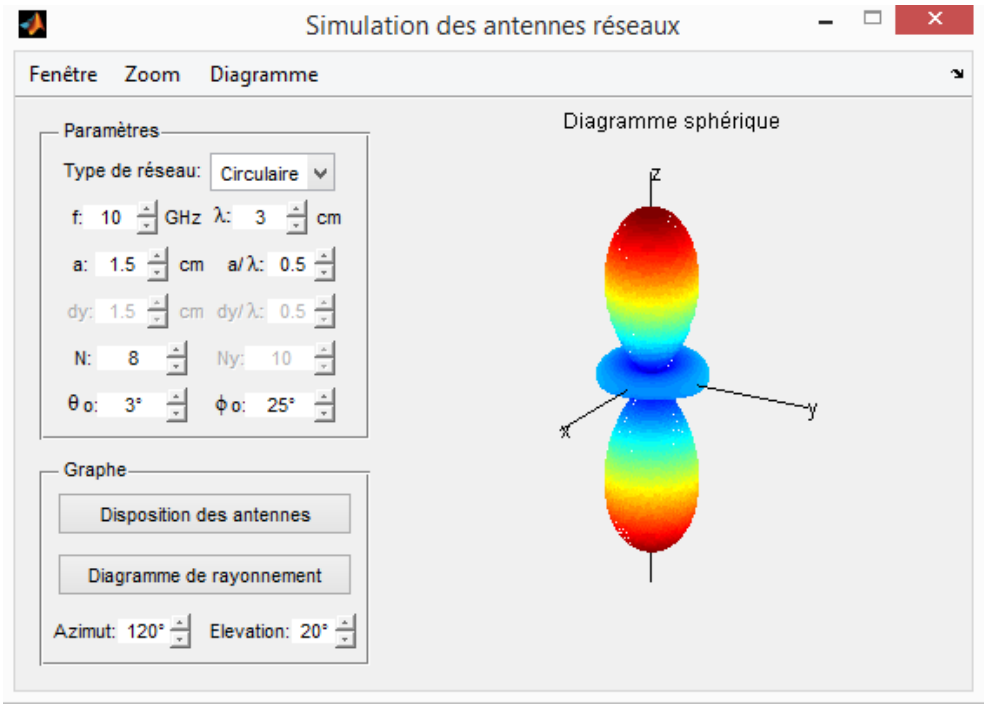


Figure 4.84 : *Diagramme de rayonnement sphérique avec* $\theta o = 3$ et $\phi o = 25$

Avec θo = 3 et ϕo = 60

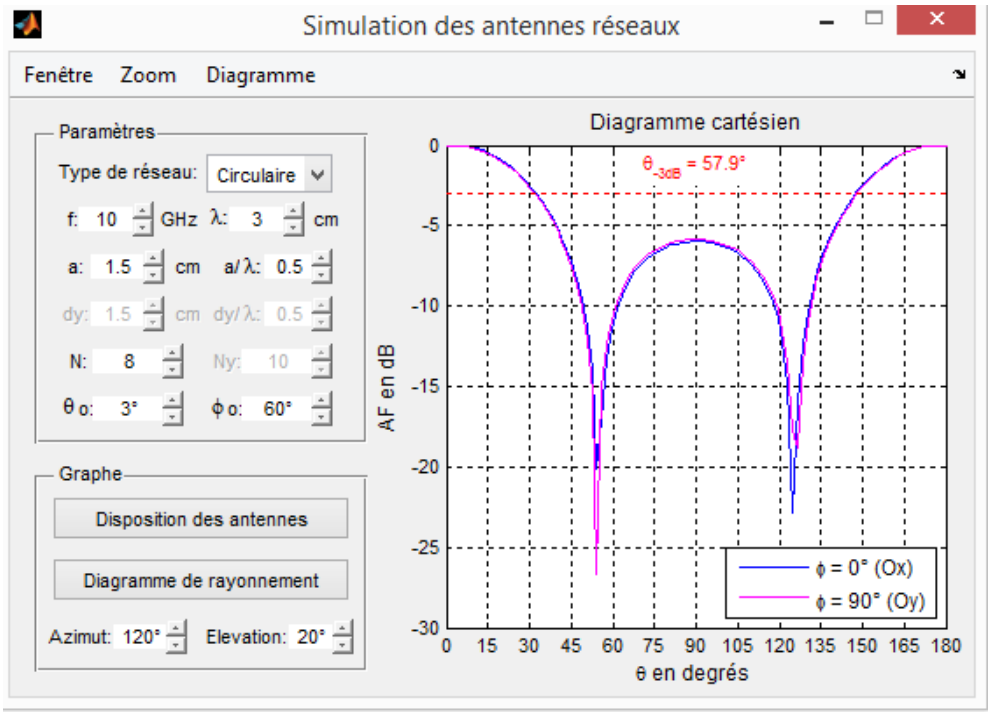


Figure 4.85: *Diagramme de rayonnement cartésien avec* θo=3 et ϕo=60

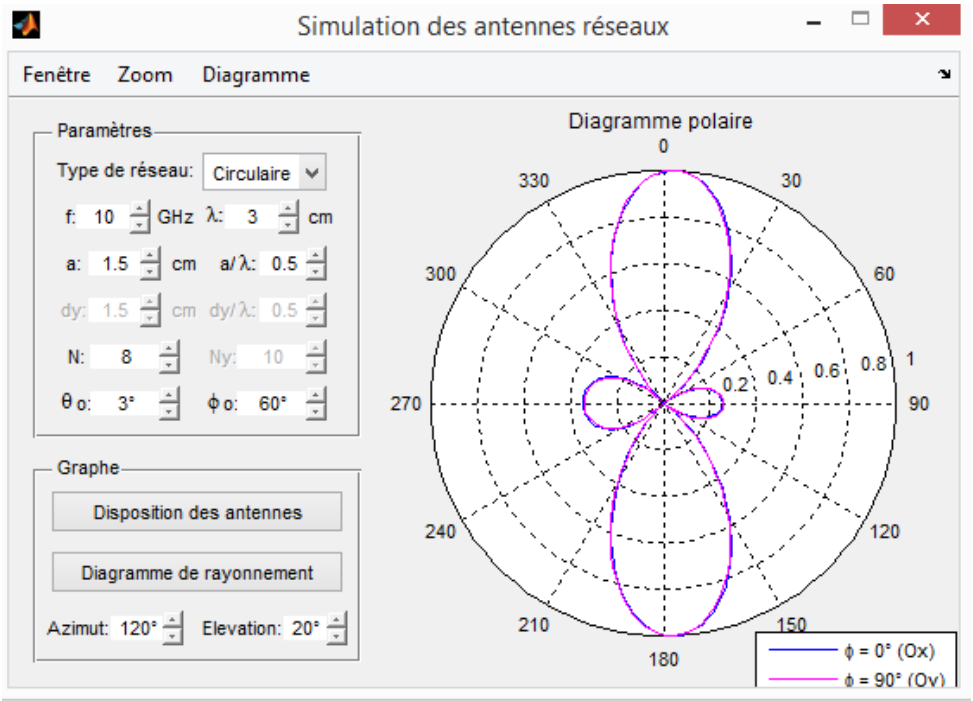


Figure 4.86: *Diagramme de rayonnement polaire avec* θo=3 et ϕo=60

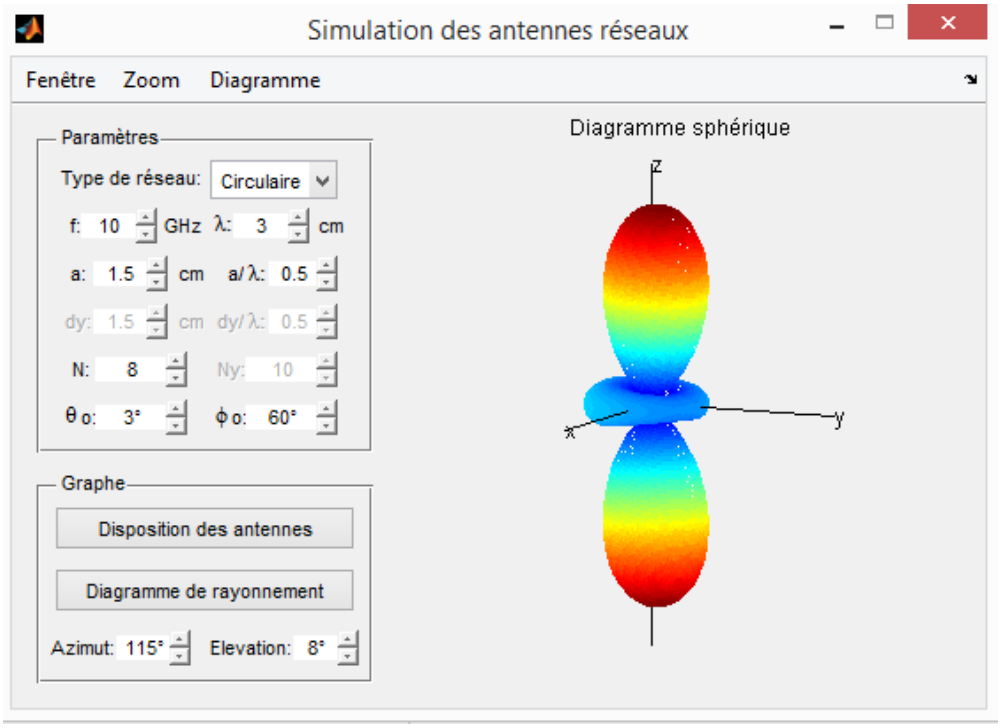


Figure 4.87 : *Diagramme de rayonnement sphérique avec* $\theta o = 3$ et $\phi o = 60$

Présentement, nous allons fixer le ϕo et faire varier θo.

Saisissons $\theta o = 2$ et $\phi o = 10$

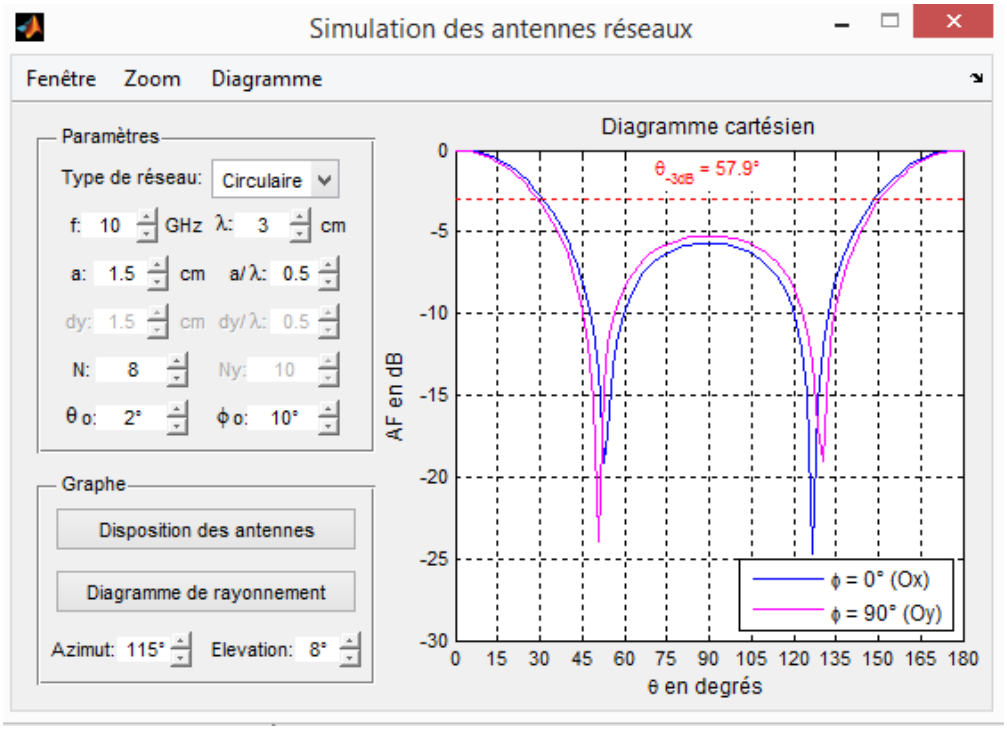


Figure 4.88: *Diagramme de rayonnement cartésien avec* $\theta o=2$ et $\phi o=10$

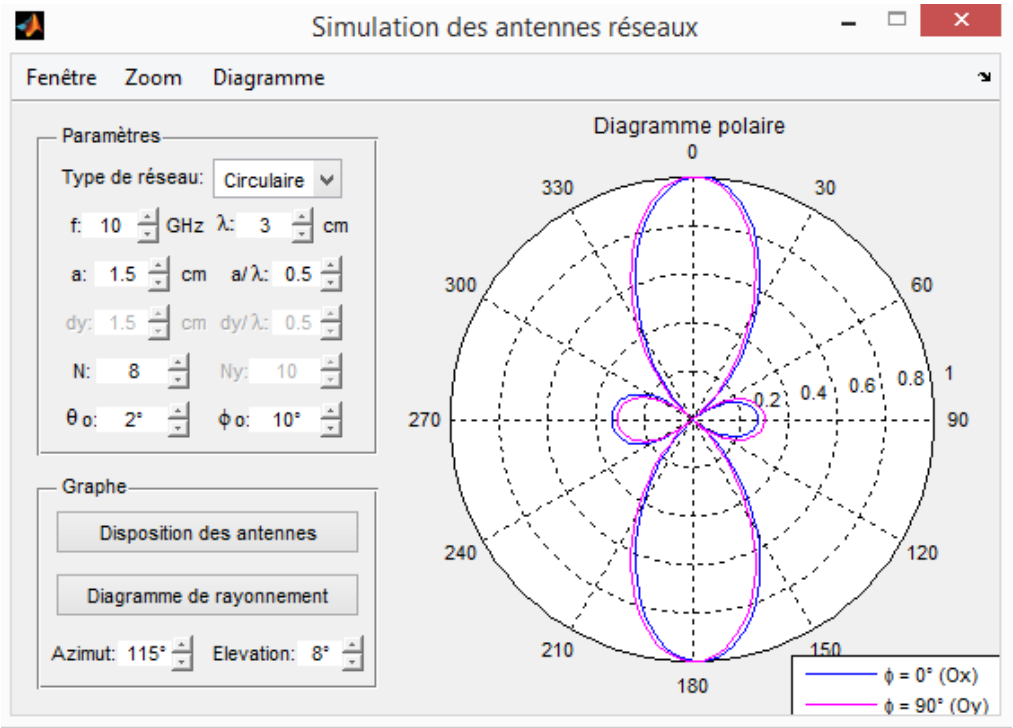


Figure 4.89: *Diagramme de rayonnement polaire avec* θo=2 et ϕo=10

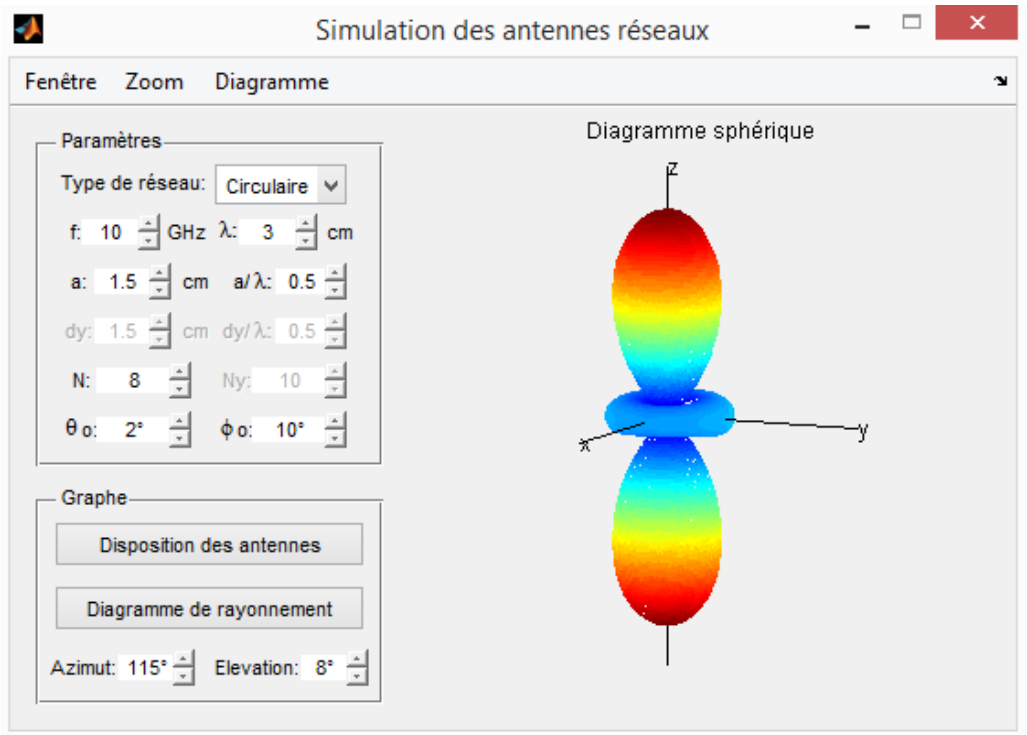


Figure 4.90 : *Diagramme de rayonnement sphérique avec* $\theta o = 2$ et $\phi o = 10$

Avec θo = 30 et ϕo = 10

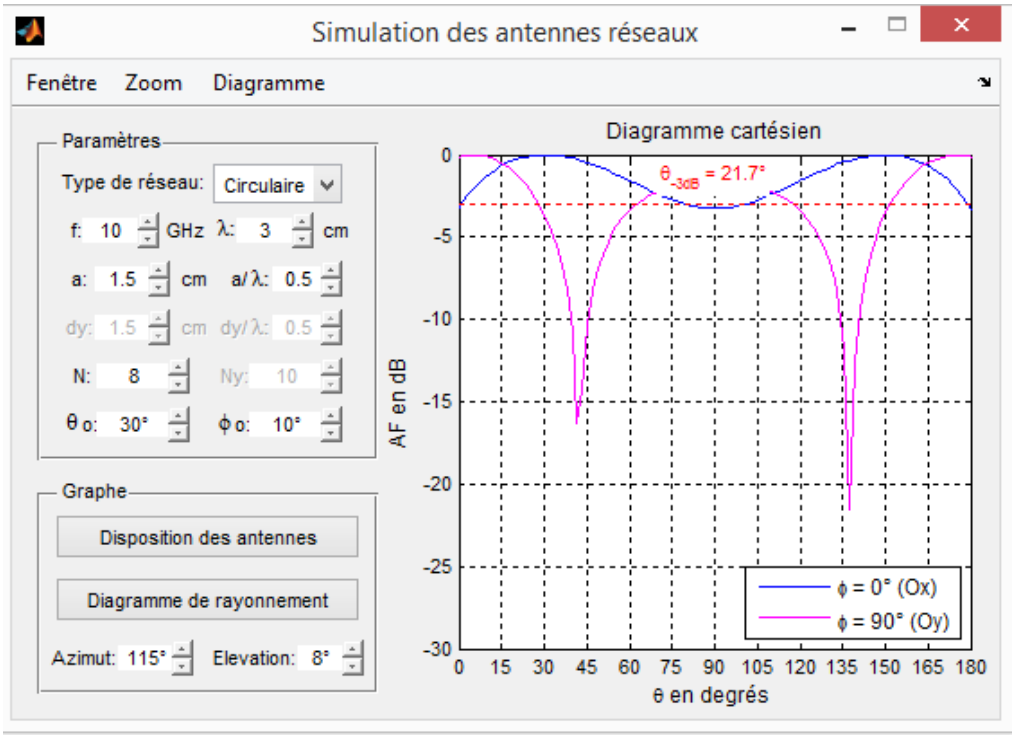


Figure 4.91: *Diagramme de rayonnement cartésien avec* θo=30 et ϕo=10

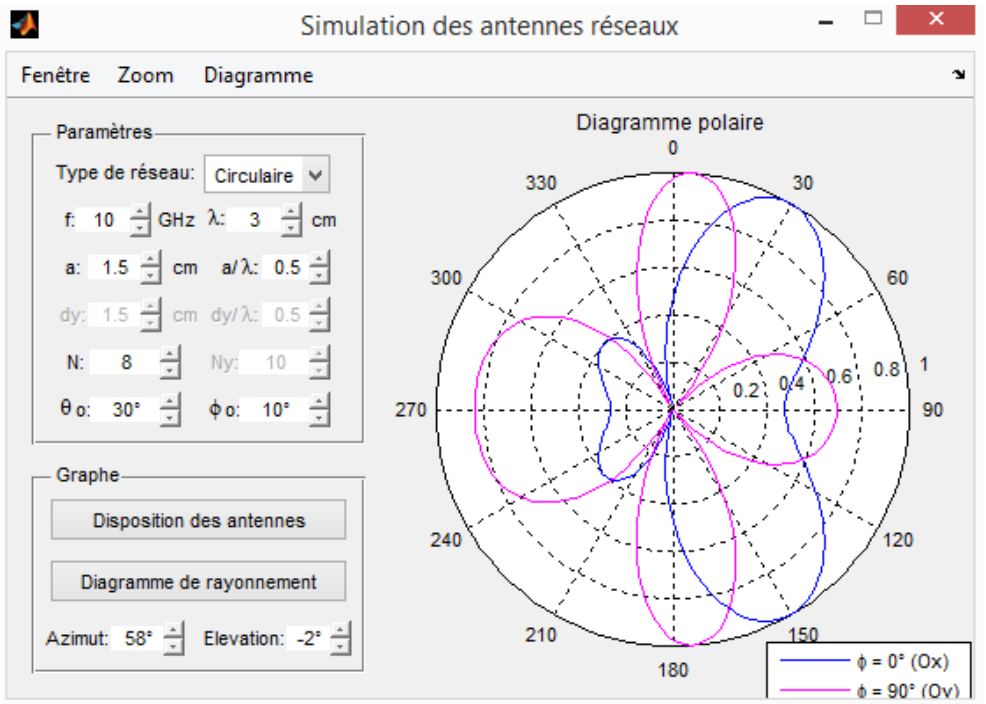


Figure 4.89: *Diagramme de rayonnement polaire avec* θo=30 et ϕo=10

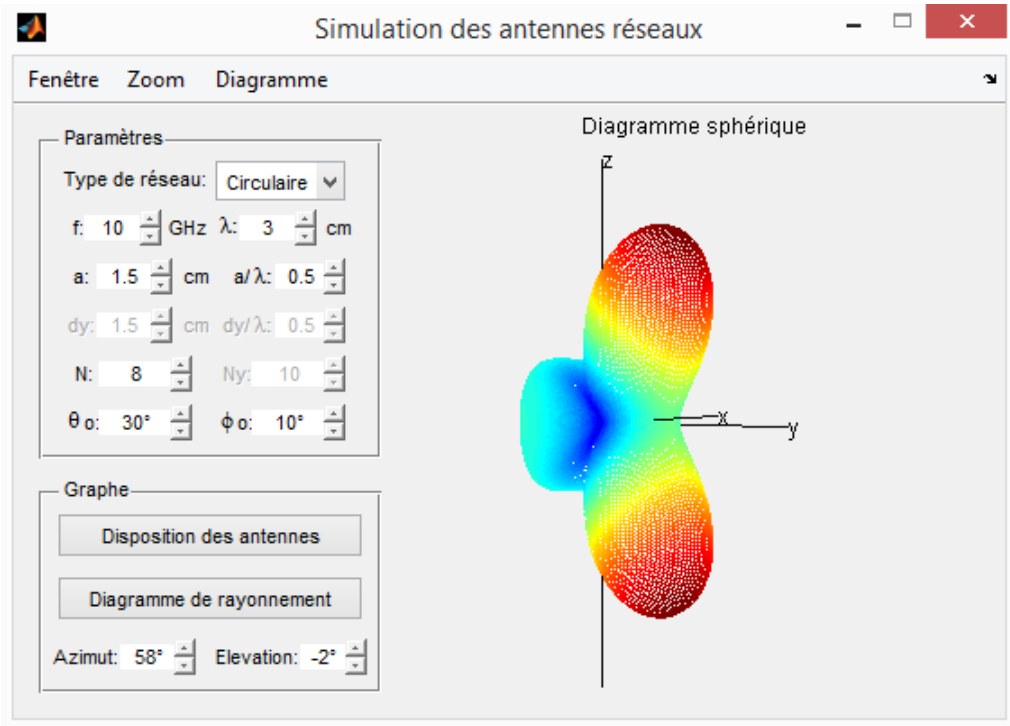


Figure 4.92 : *Diagramme de rayonnement cartésien avec* θo=30 et ϕo=10

L'instant où on a fixé θo et qu'on a varié ϕo l'angle d'ouverture restait toujours aux environs de 57 comme la montre la **Figure 4.82** jusqu'à la **Figure 4.90.** Cela nous fait savoir que ce paramètre est moins influençable au sein du réseau. En revanche, lorsque on fixe le ϕo et qu'on varie le θo il est remarquable que l'angle d'ouverture est visiblement changée comme l'indique la **Figure 4. 88** jusqu'à la **Figure 4.91**. Ce qu'on a retenu lors de la variation du paramètre θo est que cette dernière plus elle devient grande et plus on obtient une mauvaise ouverture lobaire.

4.5 Conclusion

Ce chapitre était consacré à la présentation du problème qui s'y trouve entre la TNT et la 4G suivi de la simulation sous MATLAB des réseaux d'antennes , avec un changement des paramètres influant au diagramme de rayonnement , dont le but était de visualiser les performances de la transmission par l'intermédiaire des différents type géométriques des réseaux d'antennes . Ces simulations constituent une bonne vigilance dans nos travailles lorsqu'on fait appel à l'antenne intelligente.

CONCLUSION GENERALE

En somme, les assises de ce travail se basent aux interférences qui s'imposent entre la TNT et Les réseaux 4G ainsi que ses solutions . Il constitue une étape importante vers la conception et le développement d'une architecture. De ce fait, ce travail a nécessité de s'intéresser à la fois aux aspects matériels dont la contribution de l'antenne intelligente . Théoriquement on a mis en œuvre un système d'antenne élémentaire en agissant sur les différents paramètres que constituent les différents types de réseaux. C'est pourquoi il nous a paru important de commencer ce mémoire par une description approfondie sur les deux technologies en question, ainsi que les diverses limitations rencontrées au cours de la propagation du signal. Cette description nous a permis de maitriser la conception théorique de ces deux réseaux qui devient de plus en plus complexe avec l'apparition de nouveaux composants et donc de nouveaux paramètres influant sur les performances de transmission.

Le second chapitre a souligné la liaison hertzienne puisque la liaison d'une antenne à une autre se déroule dans le vide. Il a aussi montré le rôle très important d'une antenne dans les liaisons hertziennes : elle assure l'interface entre le circuit. Sans oublier que chaque liaison hertzienne, on définit deux fréquences correspondant aux deux sens de transmission. Pour des raisons de distance et de visibilité, le trajet hertzien entre l'émetteur et le récepteur est souvent découpé en plusieurs tronçons, appelés bonds, reliés par des stations relais.

Le troisième chapitre a montré la technologie des antennes intelligentes représente un point essentiel quant au développement des systèmes de communications de quatrième génération. Quant aux opérateurs mobiles, leurs investissements, bien que très élevés, seront rentabilisés puisque ces systèmes devraient permettre l'évolution des réseaux sans nécessiter l'installation de nouvelles stations de base.

Quant au quatrième chapitre il se focalisait sur la recherche le plus efficace de la conception d'une antenne intelligente toute en utilisant une simulation. Cette dernière a bel et bien montré en quoi les paramètres peuvent jouer un rôle si important lors de la planification des réseaux antennes. Tout d'abord on a fixé les autres paramètres et en suite on a fait varier l'une d'elles. Par conséquent les résultats obtenus nous ont permis de donner des interprétations et soulever quelques remarques ainsi que des décisions.

ANNEXES

ANNEXE 1

ALGORITHMES ADAPTATIFS

A1.1 Algorithme MUSIC

L'algorithme MUSIC (MUltiple SIgnal Classification) est le plus répandu et le plus connu. Il utilise la décomposition en vecteurs propres et en valeurs propres de la matrice de covariance du réseau d'antennes pour l'estimation des directions d'arrivée des sources en se basant sur les propriétés du sous-espace signal et du sous-espace bruit. L'algorithme MUSIC suppose que les sous-espaces bruit et signal sont orthogonaux. Le sous-espace signal E_s est formé des vecteurs de déphasage entre les antennes en fonction de l'angle d'arrivée. L'ensemble des vecteurs orthogonaux à E_s constitue un sous espace E_n, appelé sous-espace bruit.

L'estimation des directions d'arrivée des signaux revient à rechercher les valeurs maximales du pseudo-spectre MUSIC est donné par la relation suivante :

$$P(\theta) = \frac{1}{a(\theta)^H C\, a(\theta)}$$

Avec : C=$E_N E_N^H$ est la matrice de projection

Et $a(\theta)^H C\, a(\theta)$ est la projection du vecteur $a(\theta)$ sur le sous-espace bruit.

L'algorithme MUSIC ne permet pas d'obtenir directement les directions d'arrivée des fronts d'onde. Pour connaître avec précision les angles d'arrivée des signaux, on fait une moyenne sur tous les vecteurs d'une base orthonormée de l'espace bruit.

A2. Algorithme ESPRIT

La méthode ESPRIT (Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Techniques) s'appuie sur la propriété d'invariance rotationnelle de l'espace signal pour réaliser une estimation directe des directions d'arrivée. Cette méthode exploite la propriété d'invariance transrationnelle du réseau d'antenne en décomposant le réseau principal en deux sous-réseaux d'antennes identiques dont l'un peut être obtenu par translation de l'autre. L'intérêt principal de cette méthode est qu'elle permet d'éviter la recherche d'une fonction coût (donc un gain de calcul) et la simplicité de son implantation. En plus cette technique est moins sensible au bruit que MUSIC.

ANNEXE 2
LES BANDES DE FREQUENCE AVEC L'ANTENNE YAGI

Game de fréquence	Bande de fréquence	Type d'antennes
Radio diffusion sonore AM	Grandes Ondes : 150 – 285 kHz Ondes Moyennes : 520 – 1605 kHz	- dipôle infinitésimal - dipôle vertical 1/4 d'onde - dipôle 1/2 onde (Yagi)
Ondes courtes	4 – 26 MHz	- dipôle infinitésimal - dipôle vertical 1/4 d'onde - dipôle 1/2 onde (Yagi) - dipôle de longueur finie
Radio diffusion télévisuelle TV - FM	Bande I: 47 – 68 MHz Bande II: 85,5 – 108 MHz Bande III: 174 – 230 MHz Bande IV: 470 – 606 MHz Bande V: 606 – 862 MHz VHF: 30 – 300 MHz UHF: 300 – 1000 MHz	- dipôle vertical 1/4 d'onde - dipôle 1/2 onde (Yagi)
Transmissions satellitaires	Bande L: 1 – 2 GHz Bande S: 2 – 4 GHz Bande C: 4 – 8 GHz Bande X: 8 – 12.5 GHz Bande Ku: 12.5 – 18 GHz Bande K: 18 – 26.5 GHz Bande Ka: 26.5 – 46 GHz Bande V: 46 – 56 GHz	- antenne parabolique
Radio communications mobiles	GSM : 890–960 MHz DCS : 1710 – 1880 MHz UMTS: 1940 – 2170 MHz DECT : 1.88 – 1.99 GHz	- antenne sectorielle
Bandes amateurs	1.8 – 2 MHz 3.5 – 4 MHz 7 – 7.3 MHz 14 – 14.35 MHz 21 – 21.45 MHz 28 – 29.7 MHz 50 – 54 MHz 144 –148 MHz 220 – 225 MHz 420 – 450 MHz	- dipôle vertical 1/4 d'onde - dipôle 1/2 onde (Yagi) - dipôle de longueur finie - antenne parabolique

Tableau A1.01 : *Les différents types de bande de fréquence*

ANNEXE 3

EXTRAIT DES CODES SOURCES UTILISES POUR LA SIMULATION

Création des graphes :

```
ss = get(0,'screensize'); sx = 550; sy = 340;
figure('name','Simulation des antennes réseaux','numbertitle','off','menubar','none',...
    'position',[(ss(3)-sx)/2 (ss(4)-sy)/2 sx sy],'visible','off')
% graphe
xo = 15; yo = 15; uipanel(gcf,'units','pixels','title','Graphe','position',[xo yo 190 120])
uicontrol(gcf,'style','text','string','Azimut:','position',[xo+5 yo+13 40 14])
taz = uicontrol(gcf,'style','text','string','120°','position',[xo+45 yo+13 30 14],...
    'background','w');
vaz = uicontrol(gcf,'style','slider','min',0,'max',359,'sliderstep',[1/359 0.1],...
    'value',120,'position',[xo+75 yo+10 12 20],'callback','antennes_graph(1)');
uicontrol(gcf,'style','text','string','Elevation:','position',[xo+95 yo+13 50 14])
tel = uicontrol(gcf,'style','text','string','40°','position',[xo+145 yo+13 25 14],...
    'background','w');
vel = uicontrol(gcf,'style','slider','min',-90,'max',90,'sliderstep',[1/180 0.1],...
    'value',40,'position',[xo+170 yo+10 12 20],'callback','antennes_graph(2)');
uicontrol(gcf,'style','push','string','Diagramme de rayonnement','position',[xo+10 yo+40 170 25],...
    'callback','antennes_graph(4)')
uicontrol(gcf,'style','push','string','Disposition des antennes','position',[xo+10 yo+75 170 25],...
    'callback','antennes_graph(3)')
```

Extrait utilisé pour l'introduction des paramètres

```
% paramètres
yo = 145; uipanel(gcf,'units','pixels','title','Paramètres','position',[xo yo 190 185])
ex = 5; tbx1 = uicontrol(gcf,'style','text','string','b','position',[xo+10+ex yo+14 8 16],...
    'fontname','symbol','fontsize',10);
tbx2 = uicontrol(gcf,'style','text','string','x:','position',[xo+18+ex yo+13 12 14]);
tbx = uicontrol(gcf,'style','text','string','10°','position',[xo+28+ex yo+13 40 14],...
    'background','w');
vbx = uicontrol(gcf,'style','slider','min',-90,'max',90,'sliderstep',[1/180 0.1],...
    'value',10,'position',[xo+68+ex yo+10 12 20],'callback','antennes_param(1)');
ex = 90; tby1 = uicontrol(gcf,'style','text','string','b','position',[xo+10+ex yo+14 8 16],...
    'fontname','symbol','fontsize',10);
tby2 = uicontrol(gcf,'style','text','string','y:','position',[xo+18+ex yo+13 12 14]);
tby = uicontrol(gcf,'style','text','string','15°','position',[xo+28+ex yo+13 40 14],...
    'background','w');
vby = uicontrol(gcf,'style','slider','min',-90,'max',90,'sliderstep',[1/180 0.1],...
    'value',15,'position',[xo+68+ex yo+10 12 20],'callback','antennes_param(2)');
%
ex = 5; tnx1 = uicontrol(gcf,'style','text','string','Nx:','position',[xo+10+ex yo+40 18 14]);
tnx = uicontrol(gcf,'style','text','string','8','position',[xo+28+ex yo+40 40 14],...
    'background','w');
vnx = uicontrol(gcf,'style','slider','min',2,'max',120,'sliderstep',[1/(120-2) 0.1],...
    'value',8,'position',[xo+68+ex yo+37 12 20],'callback','antennes_param(3)');
ex = 90; tny1 = uicontrol(gcf,'style','text','string','Ny:','position',[xo+10+ex yo+40 18 14]);
tny = uicontrol(gcf,'style','text','string','10','position',[xo+28+ex yo+40 40 14],...
    'background','w');
vny = uicontrol(gcf,'style','slider','min',2,'max',120,'sliderstep',[1/(120-2) 0.1],...
    'value',10,'position',[xo+68+ex yo+37 12 20],'callback','antennes_param(4)');
```

BIBLIOGRAPHIE

[1] Lorenz P., « Télécommunications : architectures des réseaux et télécommunications », Chap.1 : Support et modèle de communication, 1998.

[2] Bruyere F., « Le multiplexage en longueur d'onde dans les réseaux métropolitains », Revue des Télécommunications d'Alcatel, 2000.

[3] Abiven J., Durel S. et Pecot A., « Quelles conditions dans le réseau d'accès pour un large déploiement du FTTH », L'écho des Recherches, 1997, Vol. II.

[4] France Telecom, « Les communications optiques du futur », Mémento Technique n°19

[5] Cassan E., « Une introduction aux télécommunications optiques par la simulation des systèmes simples », EDP Sciences, 2002, Vol. 3.

[6] Konstantas D., Razafimahefa C., « Le multiplexage-Communication Multimédia », SES 4406 CR, Université de Genève, Semestre d'été 2003.

[7] Lusteau F., « Techniques de codage sur lien optique ou paire torsadée », 13 Décembre 1999.

[8] Tran Van Lieu R., « Les infrastructures utilisées par les opérateurs télécoms », Réseaux n°53, Novembre 2002.

[9] Erman M., « Tendances et évolution des réseaux et technologies optiques », Revue des Télécommunications d'Alcatel, 3ème trimestre 2001.

[10] Fischer A., « Cours de Télécommunication IUT GTR », Université de Paris XIII, Télécommunications optiques, Chapitre 5 : Physique des lasers, 2002.

[11] Joindot I. et Joindot M., « Les Télécommunications par fibres optiques », Paris : Dunod et CNET-ENST, 1996.

[12] Boisrobert C., Toffano Z., « Cours de DEA et DESS d'Optique et Optoélectronique », Université de Nantes, 2001.

[13] Gimlett J.L., « Journal of Lightwave Technology », October 1989.

[14] P. Godlewski, P. Martins, M. Coupechoux, « Concepts Cellulaires et Paramètres Radio », ENST Paris, 2005

[15] Z. Mammeri, « Réseaux cellulaire », Cours, Université Paul Sabatier Toulouse, 2006

[16] S. Kamou, « Modèle de dimensionnement BSS pour le réseau GPRS », Mémoire de fin d'études, Ecole Supérieure de Communications de Tunis, AU : 2004/2005

[17] P. Martins, « Du GSM à la 4è génération », ENST Paris, 2007

[18] M. Toskala, H. Holma, T. Kolding, F. Frederisken, P. Mogensen, "WCDMA for UMTS", Edition WILEY, 2004

[20] T.B. Ravaliminoarimalalason, « Planification et optimisation du réseau d'acces HSDPA de l'UMTS », Mémoire de fin d'étude, Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, AU : 2009-2010

[21] P .Rouault, B.Tabaries., « UMTS : Universal Mobile Telecommunication System », TNI Montpellier, Décembre 2004.

[22] M. Skoda, "High Speed Downlink Packet Access", Adare Technologies, Mars 2006

[23] M. Toskala, H. Holma, T. Kolding, F. Frederisken, P. Mogensen, "High Speed Downlink Packet Access", Edition WILEY 2002

[24] E. Dahlman S. Parkvall J. Sköld, "4G LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband" Academic Press UK, 2011 76 [14] F. Launay, « 4G-LTE » Cours Université de Poitiers, 2012

[25] R.T Rajaonarison « MIMO », Cours 5ème année, Département. Télécommunication. - ESPA, AU : 2013-2014

[26] M. Debbah, « OFDM », Chaire Alcatel-Lucent en radio flexible, SUPELEC, 2005

[27] E. Jammazi, « Optimisation d'un réseau pilote 4G pour Tunisie Télécom », Mémoire de fin d'études, Ecole Nationale d'Ingénieures de Gabes, 2013

[28] J. E. Radonamandimby, « Onde électromagnétique et propagation », Cours I2-I3 TCO, Département Télécommunications ESPA 2012

[29] A. Gibaud, « Interférences – Cohérences », Université du Maine

[30] O. Picon, « Les Antennes : Théorie, conception et application », Dunod : Paris 2009

[31] A. Boyer, « Antennes », Institut national des sciences appliqués de Toulouse, Octobre 2011

[32] L. C. Godara, « Smart Antennas », CRC press LLC 2004

[33] N. Fadlallah, « Contribution à l'optimisation de la synthèse du lobe de rayonnement pour une antenne intelligente. Application à la conception de réseaux à déphasage », Docteur de l'Université de Limoges, Thèse N° 18-2005

PAGE DE RENSEIGNEMENT

Nom : RAFIOU

Prénom : Mohamed

Adresse de l'auteur : Mitsamiouli Comores

Téléphone : +261 34 51 214 08

E-mail : rafioumohamed83@yahoo.com

Titre du mémoire :

« CONTRIBUTION DE L'ANTENNE INTELLUGENTE FACE AUX INTERFERENCES 4G ET TNT »

Nombre de pages : 117

Nombre de figures : 128

Nombre de tableaux : 4

Directeurs de mémoire : RANDRIAMIHAJARISON Mparany Jimmy

Tel : +261 34 76 457 75

Mail : jimam 2511@gmail.com

RESUME

La technologie évolue du jour au jour et la complexité vaut de pair avec ce changement. La TNT et les réseaux 4G semblent être en concurrence sur la répartition de la bande de fréquence. Ce pendant les usagers de la TNT semblent être victimes au niveau de leurs antennes râteaux qui se place sur leurs toit. Et comme l'antenne est un dipôle électrique qui se comporte comme un circuit résonant alors la fréquence de résonance de l'antenne dépend d'abord de ses dimensions mais aussi des éléments qui lui sont ajoutés. L'antenne intelligente est une voie prometteuse pour résoudre ces genres de problèmes et accroître la capacité des systèmes de transmission. Cela consiste à utiliser la dimension spatiale des capteurs. Le but de ce travail est de mettre au point l'antenne intelligente adaptatif, afin de détourner les interférences et optimiser l'exploitation des potentialités du système à l'émission et à la réception .Il s'agit donc de concevoir des antennes réseaux pour améliorer les performances du système de transmission sans fil sans influencer sur la qualité d'émission et de réception.

Mots clés : TNT, 4G, réseau d'antenne, antenne intelligente, gain, interférence

ABSTRACT

Technology is changing from day to day and complexity goes hand in hand with this change. The TNT and 4G networks seem to be competing on the frequency band distribution. This during the TNT users seem to be victims at the level of their rake antennae which is placed on their roof. And since the antenna is an electrical dipole that behaves like a resonant circuit, then the resonant frequency of the antenna depends initially on its dimensions but also on the elements that are added to it. The smart antenna is a promising avenue for solving these kinds of problems and increasing the capacity of transmission systems. This involves using the spatial dimension of the sensors. The aim of this work is to develop the intelligent adaptive antenna in order to divert the interference and optimize the exploitation of the potential of the system during transmission and reception. Improve the performance of the wireless transmission system without influencing the quality of transmission and reception.

Key words: TNT, 4G, network antenna, smart antenna, gain, interference